



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**KONCEPČNÍ NÁVRH PLOŠINY PRO PŘEKONÁVÁNÍ  
SCHODIŠŤ**

CONCEPTUAL DESIGN FOR STAIRS CLIMBING

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Richard Choleva

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Petr Kočiš

BRNO 2021



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Richard Choleva**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Petr Kočíš**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Koncepční návrh plošiny pro překonávání schodišť

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je navrhnout a porovnat koncepční řešení pro lokomoční ústrojí průmyslového robotu na pohyb a transport robotu a případně dalších manipulovaných předmětů po schodišti. Robot bude upevněn na plošině lokomočního ústrojí. To bude schopno automatického pohybu po rovných nebo lomených schodech včetně adaptace na parametry schodiště.

### Cíle bakalářské práce:

Přehled současného stavu a poznání.

Systémový rozbor.

Nejméně 4 návrhové varianty, jejich zhodnocení a výběr vhodné varianty.

Porovnání návrhových variant na základě multikriteriálního hodnocení.

Kompletní 3D model vybraného koncepčního návrhu.

Závěr a zhodnocení dosažených výsledků.

### Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá koncepčním řešením lokomočního ústrojí průmyslového robotu, jež má zajišťovat pohyb a transport robotu a případně dalších manipulovaných předmětů po schodišti. V úvodu tato práce seznamuje s typy průmyslových robotů a lokomočních ústrojí využívaných v praxi. Na to navazuje analýza problému a představení návrhových variant, ze kterých je použitím multikriteriálního hodnocení vybrána varianta vhodná pro řešení této problematiky. Nakonec se práce věnuje konstrukčnímu řešení lokomočního ústrojí, zhodnocení a diskusi nad danou problematikou.

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis focuses on the conceptual solution for the locomotor system of an industrial robot, which ensures movement and transport of the robot and alternatively, other manipulated objects up the stairs. The introduction of this work presents different types of industrial robots and locomotor systems used in practice. This is followed by an analysis of the problem and solutions proposal based on multicriteria analysis. Finally, the work focuses on the mechanical design of the locomotor system, its evaluation and discussion of the challenge.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Lokomoční ústrojí, pásový podvozek, průmyslový robot, mobilní robot

## **KEYWORDS**

Locomotor system, tracked chassis, industrial robot, mobile robot



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

CHOLEVA, Richard. Koncepční návrh plošiny pro překonávání schodišť [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132521>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Petr Kočíš.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu Ing. Petru Kočišovi za jeho čas, ochotu a cenné rady. Dále děkuji všem, kteří mě při psaní této bakalářské práce podporovali.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Petra Kočiše a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21. 5. 2021

.....

Richard Choleva



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....</b>	<b>17</b>
2.1	Roboty a rozdělení robotických soustav .....	17
2.2	Průmyslové roboty .....	17
2.2.1	Karteziánské roboty .....	18
2.2.2	Cylindrické roboty .....	18
2.2.3	SCARA roboty .....	19
2.2.4	Šestiosé roboty .....	20
2.2.5	Delta roboty .....	20
2.3	Lokomoční ústrojí.....	21
2.3.1	Kolový lokomoční systém .....	22
2.3.2	Pásový lokomoční systém .....	24
2.3.3	Kráčející lokomoční systém .....	25
<b>3</b>	<b>SYSTÉMOVÝ ROZBOR .....</b>	<b>29</b>
3.1	Problémová situace .....	29
3.2	Formulace problému .....	29
3.3	Formulace cílů a shrnutí práce .....	29
3.4	Dílčí kroky práce .....	30
3.5	Schéma parametrů.....	31
<b>4</b>	<b>NÁVRHOVÉ VARIANTY .....</b>	<b>33</b>
4.1	Varianta A.....	33
4.2	Varianta B .....	34
4.3	Varianta C .....	35
4.4	Varianta D.....	36
<b>5</b>	<b>MULTIKRITERIÁLNÍ HODNOCENÍ.....</b>	<b>39</b>
5.1	Hodnotící parametry .....	39
5.1.1	Přiřazení váhy hodnotícím parametrům .....	39
5.2	Varianta A.....	40
5.3	Varianta B .....	41
5.4	Varianta C .....	42
5.5	Varianta D.....	43
5.6	Výběr vhodné varianty.....	43
<b>6</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....</b>	<b>45</b>
6.1	Rámová konstrukce.....	45
6.2	Pohonný mechanismus .....	47
6.2.1	Napínání řemenů.....	48
6.2.2	Pomocná kolečka .....	48
6.2.3	Výběr elektromotorů.....	49
6.3	Naklápěcí mechanismus .....	50
6.3.1	Výběr elektromotorů.....	51
6.4	Elektronika.....	53
6.4.1	Akumulátor .....	53
6.4.2	Čidla.....	54
6.5	Kryt .....	55
6.6	Mobilní robot .....	56

<b>7</b>	<b>ZHODNOCENÍ A DISKUZE .....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>59</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>61</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>65</b>
10.1	Seznam zkratk a symbolů .....	65
10.2	Seznam tabulek.....	67
10.3	Seznam obrázků.....	67
<b>11</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>69</b>

# 1 ÚVOD

Od vzniku prvního robotu uběhlo již více než 60 let, během kterých došlo k rozsáhlému technickému rozvoji a s ním související implementaci robotů do praxe. V dnešní době se s roboty setkáváme čím dál častěji, a to i na denní bázi. V běžném životě se takto jedná například o roboty nemobilní (kuchyňský mixér) či roboty mobilní – nejčastěji robotický vysavač. Mobilní roboty však mají možnosti využití daleko přesahující jejich práci v domácnosti. Zde hovoříme především o servisním užití zastřešujícím různé druhy činností. Pro příklad uveďme činnost robotu spočívající ve sběru dat na místech, která jsou pro člověka těžce dostupná (operování ve vzduchu, práce ve skalnatém terénu) a dále ve sběru dat za podmínek, která jsou pro lidský život ohrožující (ve vesmíru, v toxickém ovzduší, ve vysokotlakém prostředí). Užití najdou také v medicíně, a to jak v diagnostice, tak i v léčbě, kdy jsou například schopny provádět operace s větší přesností než lidská ruka (operace v ortopedii, oftalmologii a také onkologii). Důležité je podotknout, že roboty nepracují vždy izolovaně, ale mnohé činnosti provádějí v úzké spolupráci s člověkem.

Mobilní roboty však mají, mimo výše zmíněné, daleko větší a zatím ne tolik využitý potenciál tkvící v jejich průmyslovém použití. Z praktického hlediska se může jednat o manipulaci s předměty (balení, paletizace, transport) nebo kupříkladu montáž (šroubování a vkládání součástí). Problematiku průmyslového využití mobilního robotu otevírá právě tato bakalářská práce. Konkrétně se zabývá návrhem a porovnáním koncepčního řešení autonomního lokomočního ústrojí, jež má sloužit k transportu průmyslového robotu, popřípadě dalších manipulovaných součástí. Robot bude upevněn na plošině lokomočního ústrojí schopného automatického pohybu po rovných nebo lomených schodech včetně adaptace na parametry schodiště.





## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Tato kapitola se zabývá současným stavem a poznáním v oblasti robotiky. Dotkne se obecného dělení robotů, průmyslových robotů a prostředků pro jejich transport.

### 2.1 Roboty a rozdělení robotických soustav

Robotem se podle normy ISO 8373 rozumí: „Automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor pro činnost ve třech nebo více (pohybových) osách, který může být buď pevně upevněn na místě, nebo mobilní k užití v průmyslových automatických aplikacích.“ [1]

Roboty, jakožto relativně spletitá mechanická zařízení, disponují strukturou odvíjející se podle manipulačních, technologických, popřípadě obslužných úkolů, jež by měly roboty vykonávat. Robotické soustavy proto dělíme do tří základních skupin dle oblasti jejich využití [2]:

- 1) Průmyslové roboty
- 2) Servisní roboty
- 3) Osobní roboty

### 2.2 Průmyslové roboty

Pod pojmem průmyslový robot si můžeme představit automaticky ovládaný, víceúčelový stroj, jenž je programovatelný ve více než třech osách. Využití těchto robotů nalezneme v průmyslové automatizaci, čímž se liší například od robotů servisních, které ač dokážou vykonávat určité úkoly, v aplikacích průmyslové automatizace nefigurují. [3]

Hlavním cílem průmyslových robotů je usnadnění lidské práce, v některých případech však mohou člověka zcela nahradit. Roboty jsou schopny pracovat 24 hodin denně 7 dní v týdnu bez přestávky, přičemž dovedou operovat s předměty ve vysokých rychlostech, což má za následek výrazné zvýšení produktivity. Mezi další výhody můžeme zahrnout schopnost uchovávat rozsáhlou škálu programů pro jednotlivé modely a snadnou změnu trajektorie pohybu ramena robotu. Dále také disponují schopností ovládat složité pohyby, které by mohly člověku dělat potíže, a mohl by se tak při jejich vykonávání ve výrobě zranit. Kromě zvýšené produktivity je benefitem zajisté i zlepšení celkové kvality práce pramenící z preciznosti prováděné činnosti a eliminace montážních chyb. [4]

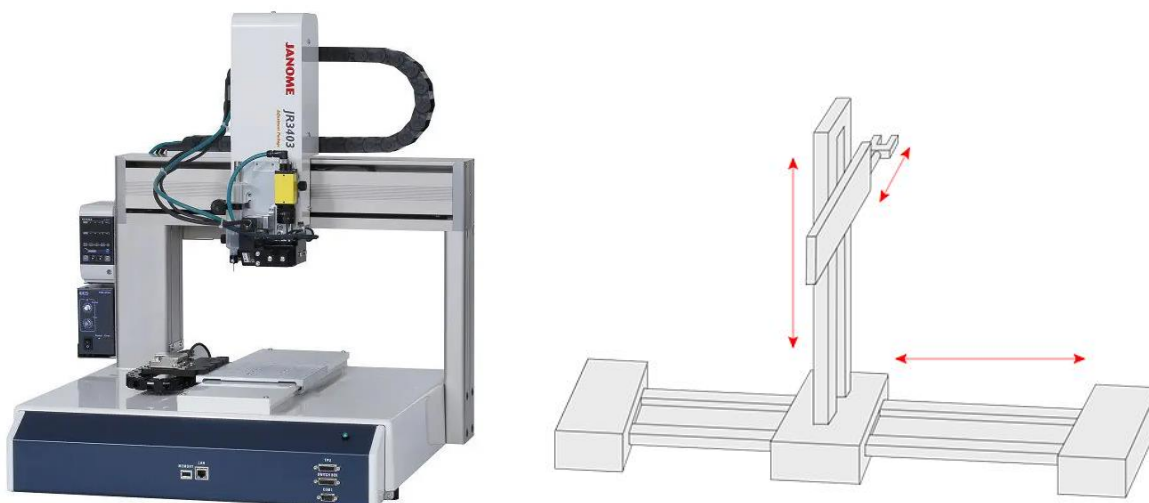
Důležitou roli u průmyslových robotů hraje bezpečnost. Lidé se mohou dostat při programování robotů do jejich bezprostřední blízkosti, kde by mohlo dojít k úrazu zapříčiněným právě robotem. Podle zákona se již musí na toto úskalí dbát, a tak je firmám nařízena instalace ochranných zařízení, mezi které patří kupříkladu ploty a výstražná varování. [4]

Průmyslové roboty se člení dle mechanické struktury do pěti skupin. Všechny typy mají své přednosti, a právě podle těchto předností pak konstruktéři vybírají daný typ robotu pro vykonání určené práce. [5]

- 1) Karteziánské roboty
- 2) Cylindrické roboty
- 3) SCARA roboty
- 4) Šestiosé roboty
- 5) Delta roboty

### 2.2.1 Karteziánské roboty

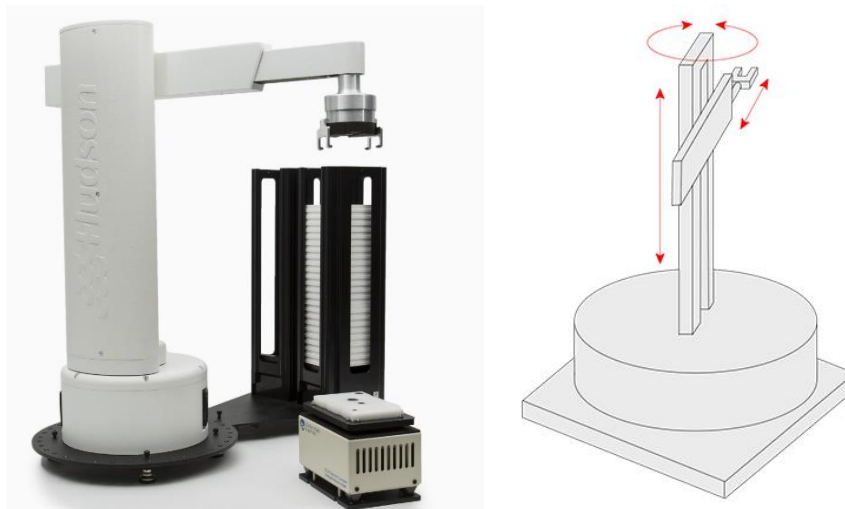
Karteziánský robot (Obr. 1a) je druh robotu, u kterého se uplatňuje kartézský souřadný systém – systém tvořen třemi navzájem kolmými osami. Jeho nedílnou součástí jsou tři prizmatické klouby zajišťující lineární pohyb po třech právě zmíněných osách  $x$ ,  $y$  a  $z$  (Obr. 1b). Dále na sobě může mít připojeno zápěstí umožňující rotaci. Lineární pohyby vytváří pracovní prostor ve tvaru krychle přinášející robotu možnost dobré manipulace s předměty při jejich přemísťování. Hodnoty rozměrů tohoto prostoru nabývají od sta milimetrů až po desítky metrů. Mezi přednosti karteziánských robotů patří jejich vysoká přizpůsobitelnost, schopnost operovat s těžkými náklady a v neposlední řadě snadné užívání a programování, což je řadí patrně k nejběžněji užívaným typům robotů pro většinu průmyslových aplikací z již zmíněné pětičlenné skupiny. Naopak nevýhodou tohoto druhu robotů je kupříkladu potřeba poměrně rozsáhlé instalační a provozní plochy. [5] [6]



Obr. 1) a) Karteziánský robot, b) Pohyb karteziánského robotu [7] [8]

### 2.2.2 Cylindrické roboty

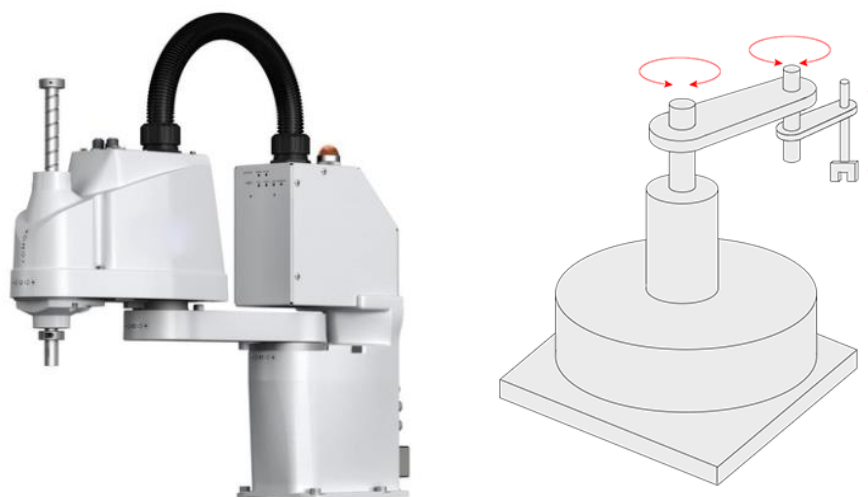
Cylindrický robot (Obr. 2a) má k dispozici dva pohybové komponenty – rotační a prizmatický kloub. Jeho součástí je otočný hřídel zaručující rotaci kolem svislé osy a výsuvné rameno, jež má na starost lineární pohyb po vertikální a horizontální ose (Obr. 2b). Kombinací těchto pohybů vzniká válcový (cylindrický) pracovní prostor. Roboty lze umístit doprostřed jejich pracovního prostoru, přičemž pomocí svého rotačního kloubu mají možnost operovat všude kolem sebe. Ve výsledku tak dochází k úspoře prostoru pro jejich instalaci. Mezi výhody cylindrických robotů patří jednoduché užívání a instalace. Navíc přichází z velké části zkompletované, tudíž je potřeba pouze minimální montáže. Využití najdou především v prostých aplikacích, např. při přemísťování materiálu. [5] [6]



Obr. 2) a) Cylindrický robot, b) Pohyb cylindrického robotu [9] [10]

### 2.2.3 SCARA roboty

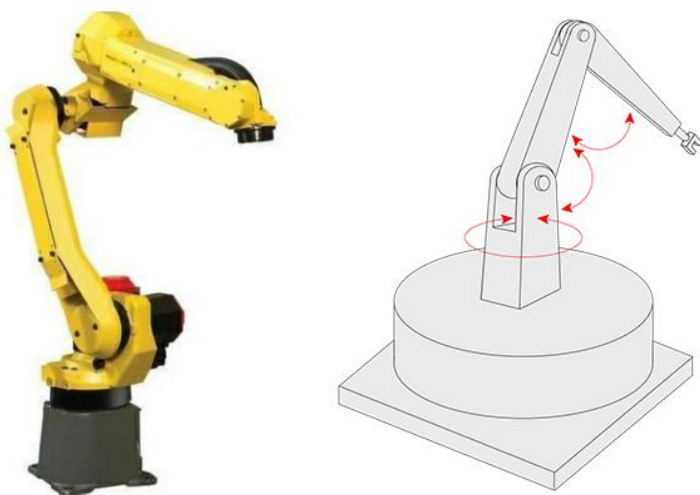
Robot typu SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) je vybaven dvěma svisle umístěnými rotačními hřídeli a nástrojem připevněným na konci ramene. Jeho klouby jsou situovány souběžně, čímž zajišťují kompatibilitu ve vybrané rovině. Díky uvedeným komponentům zvládá robot rotaci a zároveň i lineární pohyb v osách x, y a z (Obr. 3b). Pracovní obálku mají SCARA roboty (Obr. 3a) podobnou robotům cylindrickým, dala by se přirovnat ke tvaru koblihy. Možnosti uplatnění těchto robotů se moc neliší od uplatnění robotů karteziánských a cylindrických, ty však předstihují svou rychlostí. SCARA roboty se využívají při montáži, paletizaci a mimo jiné zásluhou své malé pracovní plochy i v biomedicínských aplikacích. Přestože vynikají svou snadnou integrací a mohou se tak jevit jako nejlepší volba pro použití ve většině průmyslových aplikacích, karteziánské roboty jsou spíše voleny pro svou vysokou přizpůsobitelnost. [5] [6]



Obr. 3) a) SCARA robot, b) Pohyb SCARA robotu [11] [12]

### 2.2.4 Šestiosé roboty

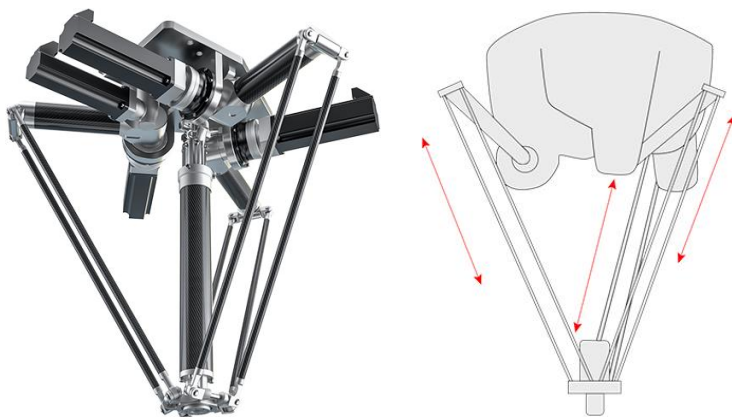
Šestiosý robot (Obr. 4a) je navržen tak, aby svou mechanickou konfigurací reprezentoval lidské rameno. Toto rameno je připevněno k základně pomocí otočného kloubu. Šestiosý robot spadá mezi takzvané kloubové roboty, jež mohou mít k dispozici dva až deset rotačních kloubů, přičemž každý kloub přidá jeden stupeň volnosti. Právě šestiosý robot je z kloubových robotů ten nejpoužívanější, a to především díky své flexibilitě. Šestiosé roboty vynikají svou rychlostí a schopností snadno přesouvat předměty z místa na místo. Obvykle bývají docela rozměrné, takže se dají využít na velké montážní práce jako je například výroba ocelových mostů. Konstrukteři bývají vybíráni hlavně z důvodu schopnosti provést pohyby (Obr. 4b), které ostatní roboty nezvládnou, na úkor ztraceného místa pro jejich instalaci. [5] [6]



Obr. 4) a) Šestiosý robot, b) Pohyb šestiosého robotu [13] [14]

### 2.2.5 Delta roboty

Delta roboty (Obr. 5a) jsou z průmyslových robotů nejdražší, za což může především jejich vysoká rychlost a preciznost. Těchto vysokých rychlostí dosahují v jejich netradiční pracovní obálce ve tvaru kopule. Protože jsou složeny z paralelních kloubových vazeb připojených na společné základně (Obr. 5b), najdeme je také pod názvem paralelní roboty. Uplatňovány jsou hlavně tam, kde je využita jejich vysoká rychlost a přesnost, tedy například u aplikace typu pick and place (vzít a umístit) nebo při přenosu výrobků. Delta roboty sice přicházejí jako hotové zboží, tudíž není potřeba složité montáže, jejich používání je však komplikovanější než u robotů šestiosých nebo SCARA. [5] [6]



Obr. 5) a) Delta robot, b) Pohyb delta robotu [15] [16]

## 2.3 Lokomoční ústrojí

Lokomoční ústrojí je nástroj (podvozek), který je v technice využíván k přesunu z jednoho místa na druhé. Tento prostředek, na němž jsou roboty připevněny, jim slouží například k transportu materiálu nebo k dokumentaci terénu. Lokomoční ústrojí rozdělujeme do pěti základních tříd, podle typu systému, jenž je pro pohyb využíván. [17] [2]

- 1) Kolové systémy
- 2) Pásové systémy
- 3) Hybridní systémy
- 4) Biomechanické systémy
  - Kráčející
  - Skákající
  - Plazivé
  - Šplhající
- 5) Ostatní systémy
  - Plavající
  - Létající

Systém je vybírán podle prostředí, ve kterém bude robot vykonávat svou práci. Obecně se může jednat buď o prostředí venkovní, kde by měl být robot schopen zdolávat i náročnější terén – lesy, skály, krátery nebo vnitřní, kde se většinou jedná o prostory budov. Na důležitosti těchto robotů přidává fakt, že je někdy pro člověka velice náročné, ne-li nemožné, pohybovat se v uvedeném terénu, a proto se zde využívá mobilních robotů jakožto lidské náhrady. Jako příklad je možno uvést práci v ovzduší kontaminovaném toxickými látkami nebo výzkum v nehostinném prostředí ostatních planet. [17]

Pro překonávání schodů se převážně používají roboty využívající svoje lokomoční ústrojí k pohybu po zemi. Tyto pozemní mobilní roboty lze dělit na roboty kolové, pásové nebo kráčející (pohyb realizován prostřednictvím noh) s tím, že kombinací těchto lokomočních principů vznikají roboty hybridní. V průmyslu se můžeme setkat se čtyřmi možnými kombinacemi vedoucími k hybridnímu lokomočnímu systému: kola-pásky, nohy-kola, nohy-pásky, nohy-kola-pásky. Co se týče dalších lokomočních systémů, dalo by se říct, že lokomoční systémy skákající, plazivé nebo šplhající jsou relativně neobvyklé a ve většině případů se využívají ke specifickým aplikacím. Kupříkladu lokomoční systém plazivý je velice zajímavý svým pohybem kopírujícím pohyb hada. Tento obojživelník je pro studium pohybu z hlediska techniky inspirující především pro svou schopnost pohybu po nejrozličnějších terénech s mnohými překážkami, jež musí ladně a bezpečně zdolávat. [18]

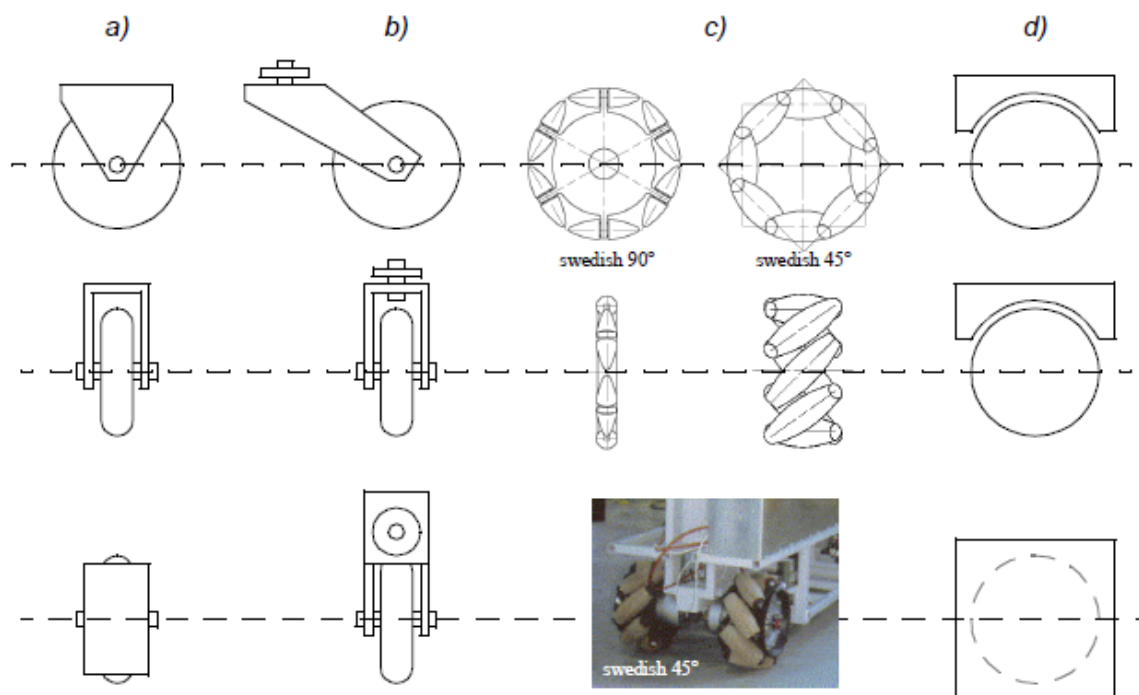
Pro porovnávání lokomočních ústrojí pozemních mobilních robotů je nutná znalost určitých vlastností, kterými se každý lokomoční systém vyznačuje. Těchto vlastností je celkově deset a každá z nich hraje důležitou roli při vybírání lokomočního ústrojí. Jedná se o maximální rychlost na rovném a kompaktním povrchu bez přítomnosti překážek, schopnost překonávat překážky náhodných tvarů v nestrukturovaném prostředí (např. kameny), schopnost vylézat jednotlivé schody a schodiště v prostředí strukturovaném pro lidi, schopnost lézt po kompaktních sloupech s dostatečným koeficientem tření (větší než 0,5), schopnost pohybu na měkkém a poddajném terénu (např. písek), schopnost pohybu po nerovném terénu (např. travnatá půda), energetickou účinnost při běžných operačních podmínkách na rovném a kompaktním povrchu, úroveň složitosti mechanické struktury, úroveň složitosti řídicího systému (hardware a software) a úroveň zralosti potřebných podpůrných technologií. [18]

### 2.3.1 Kolový lokomoční systém

Kolový lokomoční systém patří mezi jeden z nejčastěji používaných typů podvozku sloužícího pro přesun robotu. Za touto skutečností stojí relativně jednoduché navrhování, sestavení a naprogramování robotu působícího na rovném povrchu. Například oproti robotům kráčejícím mají roboty kolové výhodu snadnějšího ovládání, nižší ceny a zároveň se nepotýkají ani se závažnými problémy s rovnováhou, jelikož se jejich kola většinu času dotýkají povrchu, po němž se roboty přemísťují. Problémy s pohybem se však projeví při styku s nehomogenním povrchem, jakým je například skalnatý terén, jehož nerovnoměrnosti kolové roboty nedokážou překonat tak snadno jako roboty využívající jiná lokomoční ústrojí. [19] [20]

Kola tohoto lokomočního ústrojí dělíme do čtyř hlavních skupin (Obr. 6) lišících se především svou kinematikou. Z čeho vyplývá, že výběrem dané skupiny dojde k značnému ovlivnění celkové kinematiky robotu [20] [21]:

- a) Standartní kola – dva stupně volnosti (rotace kolem osy kola a bodu dotyku)
- b) Vlečná kola – dva stupně volnosti (rotace kolem přesazeného kloubu řízení)
- c) Švédská kola – tři stupně volnosti (rotace kolem osy kola, válečků, bodu dotyku)
- d) Sférická kola – technicky náročné na provedení



Obr. 6) Schéma jednotlivých typů kol [22]

Výzkum kolových robotů se zabývá především stabilitou, manévrovatelností a ovládáním. Stabilita je u kolových robotů zaručena při minimálním počtu tří kol, přičemž se těžiště robotu musí nacházet v trojúhelníku tvořeném body dotyku kol se zemí. Přidáním dalších kol se sice stabilita zvyšuje, musí se však počítat se zavedením odpružení, aby nedocházelo ke ztrátě kontaktu některých kol s povrchem v okamžiku, kdy se robot nachází na nerovném terénu. Co se týče manévrovatelnosti, ta je u kolových robotů ovlivněna především výběrem kol, pomocí kterých se roboty přemísťují. Všesměrové roboty, tedy roboty schopné pohybu jakýmkoliv směrem podél země představující rovinu XY nehlédě na jejich orientaci kolem svislé osy (Z), používají švédská nebo sférická kola, která jim daný pohyb umožňují. Jelikož

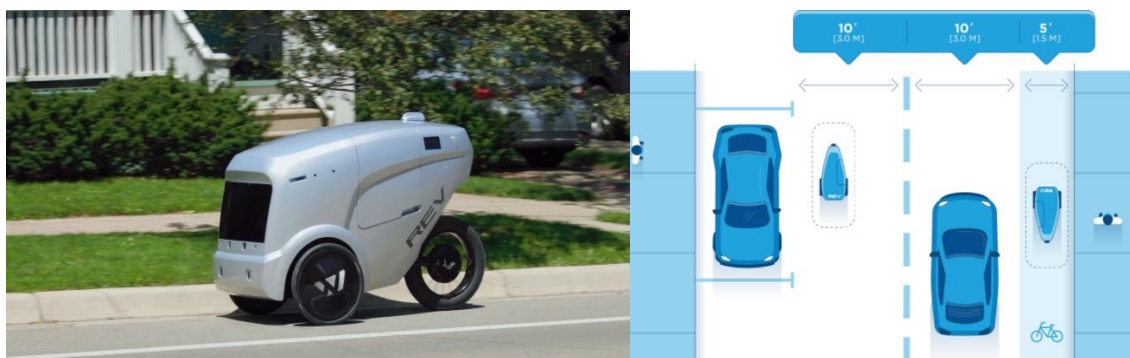


konstrukce těchto kol disponují mechanickými omezeními, dochází tak k částečnému omezení světlé výšky robotu – minimální vzdálenosti podvozku robotu vyjma kol od země. Tento problém lze řešit zavedením čtyř vlečných kol, jež jsou aktivně řízena, a proto je robot schopen pohybu v požadovaném směru i přes kolmou orientaci vlečných kol k tomuto směru. Proto by se dalo říci, že se robot stává opravdu všesměrovým. O něco nižší manévrovatelností se pak vyznačují roboty, které pro přemístění vyžadují rotaci. Kruhový podvozek a osa rotace procházející jejich středem jim umožňují otáčení beze změny stopy na zemi. Příkladem je diferenciálně řízený robot s dvěma koly, která konají rotační pohyb kolem jeho středu. Mezi manévrovatelností a ovladatelností existuje inverzní korelace, což si lze představit na příkladu konfigurace čtyř vlečných kol, při níž je nutné pro převod translačních a rotačních rychlostí na jednotlivé příkazy kol použít značné zpracování. U všesměrových robotů obecně platí, že se s rostoucí manévrovatelností zvyšuje i náročnost jejich ovládání. Například u diferenciálně řízeného robotu musí být oba motory, které jsou připojeny k jeho dvěma kolům, řízeny stejnou rychlostí. To ale nemusí být tak jednoduché vzhledem k možným variacím mezi koly, motory a podmínkami okolního prostředí. Koneckonců je právě na konstruktérovi, aby vybral tu nejvhodnější řídicí konfiguraci pro danou problematiku, protože neexistuje žádná, která by byla schopna současně vystupňovat stabilitu, manévrovatelnost a ovládání na tu nejvyšší možnou míru. [20]

Kolové roboty lze klasifikovat podle počtu kol jejich lokomočního ústrojí. Tento počet může přesahovat více než pět kol s tím, že se v praxi nejvíce využívají roboty tříkolové a čtyřkolové. [23] [24]

#### Tříkolové roboty

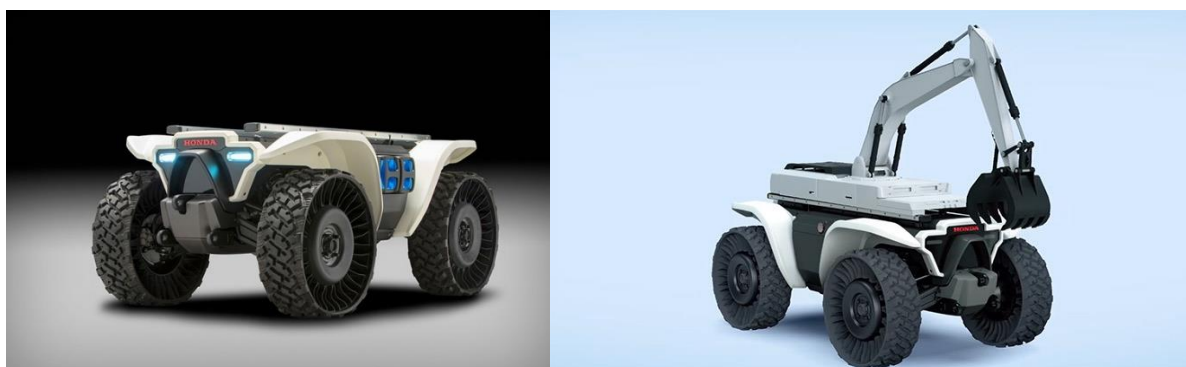
Tříkolové roboty se obvykle skládají ze dvou kol na jednom konci a jedním vlečným kolem na konci druhém. Tato kola jsou většinou uspořádána do tvaru trojúhelníku, což přináší potřebnou stabilitu. Na rozdíl od robotů dvoukolových nepotřebují žádné speciální vyvažovací postupy, a tudíž se snadněji konstruují. Jako příklad lze uvést autonomní robot REV-1 (Obr. 7a) sloužící k doručování zboží ve městech. Po silnicích se zvládá pohybovat bez omezení silničního provozu (Obr. 7b) za jakéhokoliv druhu počasí, a přitom splňuje podmínky pro zařazení mezi elektrokola. Vzhledem k lehké váze a krátké brzdné dráze je tento prostředek bezpečný. [23] [24] [25]



Obr. 7) a) Tříkolový robot REV-1, b) Operační zóny robotu REV-1 [26] [27]

### Čtyřkolové roboty

Čtyřkolové roboty obvykle sestávají z dvou kol řídicích a dvou kol pohonných. Obecně jsou čtyři kola efektivnější než kola dvě nebo tři, zároveň se však musí počítat s příplatkem za kolo navíc a někdy i s příplatkem za další motor pro pohon kol. U čtyřkolových robotů se nevyskytují problémy s rovnováhou a často disponují diferenciálním řízením. Mezi tyto roboty se řadí kupříkladu autonomní robot 3E-D18 (Obr. 8) od společnosti Honda, jenž byl navržen za účelem usnadnění lidské práce v těžkém terénu. Protože lze na tento elektricky poháněný robot připevnit mnoho přídavných zařízení, nalezne široké využití v mnoha oblastech, a to například v zemědělství nebo také při hašení požárů. V nebezpečných situacích ohrožujících lidský život může člověka zastoupit a fungovat tedy jako lidská náhrada. [23] [28]



Obr. 8) Čtyřkolový robot 3E-D18 s přídavným zařízením v podobě lopaty [29]

#### **2.3.2 Pásový lokomoční systém**

Pásové roboty jsou vhodné v případě nutnosti operace v oblastech s nerovným a měkkým terénem a v případě potřeby překonání různých překážek. Pohyb za zmíněných podmínek je možný především díky velkým kontaktním plochám pásů s povrchem. Tyto roboty však podléhají vibracím, protože boční profil jejich pásů má tvar mnohoúhelníku s pohyblivými vrcholy a také obvykle nebývají vybaveny tlumicími systémy. To vede k poklesu rychlosti a snížení mechanické účinnosti. [18] [19]

Podle počtu a rozvržení pásů odlišujeme pásové roboty s kloubovými a nekloubovými pásy. Roboty s nekloubovými pásy vynikají svou lehkou mechanikou a ovládáním, přitom se dokážou dobře pohybovat na nerovném a měkkém povrchu, kde zvládají zdolávat malé překážky. Obvykle disponují dvěma paralelními pásy s diferenciálním řízením. Příkladem tohoto typu robotu může být tzv. Fitorobot (Obr. 9a), jenž je využíván ve sklenících k rozprašování. Co se týče robotů s pásy připevněnými k podvozku otočnými klouby, těm je umožněno lépe zvládat nerovný terén a překonávat překážky přidáním více než dvou pásů s relativní pasivní mobilitou. Mezi jejich zástupce patří například čtyřpásový robot Robhaz DT3 (Obr. 9b) vybavený dvěma paralelními pásy se společným ovládáním na každé straně a dvěma předními pásy ve tvaru trojúhelníků sloužícími k usnadnění dosažení vyšších překážek. [18]

Při potřebě ještě výraznějšího zlepšení pohybu po nerovném povrchu a zdolávání překážek je nutné upřít zrak na složitější roboty s pásy připevněnými k podvozku pomocí kloubů. Příčinnými vlastnostmi se vyznačuje například robot Gunryu (Obr. 9c), který vykonává svůj pohyb pomocí čtyř nezávislých pásů, jež jsou připevněny ke dvěma nezávislým hlavním tělům robotu. Tato těla jsou pak spojena pasivně kloubovým ramenem. [18]





Obr. 9) Pásové roboty: a) Fitorobot, b) Robhaz DT3, c) Gunryu [30] [31] [32]

### 2.3.3 Kráčejší lokomoční systém

Kráčejší roboty mohou operovat jak ve strukturovaném prostředí, tak i na nerovném měkkém povrchu, což jim umožňuje jejich široká mobilita. Jejich obvykle vyšší cena ve srovnání s roboty kolovými je kompenzována lepší energetickou účinností, pohyblivostí a stabilitou. Mezi další výhody lze také řadit jejich schopnost jednoduše překonávat překážející objekty či trhliny. Naopak mezi nevýhody patří poměrně nízká rychlost, vysoká spotřeba energie a v neposlední řadě spleť řídicí systém. [18] [19]

Při navrhování kráčejších robotů se konstruktéři nechali inspirovat přírodou, konkrétně se zaměřili na živočichy a jejich rozlišný počet noh. Právě podle počtu dolních končetin se kráčejší roboty klasifikují. V průmyslu se nejčastěji setkáváme s roboty dvounohými, čtyřnohými a šestnohými. [18] [19]

Stabilita představuje pro kráčejší roboty stěžejní problém, proto je důležité, jaký způsob chůze je u nich uplatněn. Tato chůze může být statická anebo dynamická. Staticky se pohybující roboty jsou, podobně jako pomalý hmyz, vždy vyvážené. Body dotyku noh robotu se zemí tvoří mnohoúhelník, jenž představuje oblast, ve které se při pohybu robotu vždy nachází vertikální projekce jeho těžiště, což přináší již zmíněnou vyváženost. Roboty s chůzí dynamickou však vyváženost občas postrádají a je u nich potřeba mnohem složitějšího řídicího systému. Tento typ pohybu si lze představit například jako běh zvířete. Jejich řídicí systém je složitý hlavně z hlediska několika důležitých aspektů [18]:

- Na rozdíl od návrhu chůze statické musí být návrh chůze dynamické založen nejen na kinematickém modelu, ale i na modelu dynamickém.
- Při dynamické chůzi musí být upraveny trajektorie nohou robotu jako funkce jeho rychlosti, kdežto při chůzi statické je robot schopen dosáhnout různých rychlostí pomocí stejných pohybů noh prováděných akorát při odlišných rychlostech.
- Dynamicky se pohybující robot vyžaduje náležitý pohyb, aby dosáhl klidové polohy, přičemž robot pohybující se staticky může zastavit v jakékoliv pozici, a přesto bude stále vyvážený.
- Při dynamické chůzi dochází ke se složitému vyvážení vnějších rušivých sil, tudíž je nutné zcela přepřeplovat pohyb robotu.

Ovšem nejen řídicí systém činí dynamický pohyb tak složitý, na tomto úskalí se podílí také mechanická struktura robotu. Ve finále však dynamická chůze nese spoustu výhod, mezi které patří například vyšší energetická účinnost nebo zachování většiny kinetické energie. [18]

### Dvounohé roboty

Studie robotů se zabývají dvounohými roboty již od počátku, a to především vývojem humanoidů – robotů připomínající lidskou bytost. Tito roboti jsou navrženi tak, aby napodobovali lidské chování, a mohli tak člověka v jeho pracovním prostředí zcela nahradit. Vyznačují se dynamickou stabilitou a složitým řídicím systémem, díky kterému je stojící robot schopen udržet rovnováhu. Oproti robotům opatřených více nohama tito dvounoží roboti těží z nižší hmotnosti a menší potřeby koordinace jejich nohou. Mezi zástupce dvounohých robotů patří například Atlas (Obr. 10) od společnosti Boston Dynamics. Součástí tohoto robota je mobilní hydraulický systém a moderní ovládací systém, jenž mu přináší až neobvyklou hbitost. [33] [34]



Obr. 10) Krácející dvounohý robot Atlas [35]

### Čtyřnohé roboty

Čtyřnohé roboty jsou navrženy tak, aby zvládaly operovat v těžkém terénu. Ve srovnání s roboty dvounohými jsou stabilnější a jejich těžiště je situováno níže. Co se chůze týče, čtyřnohé roboty se mohou pohybovat dvěma způsoby. Při prvním způsobu robot zvedá vždy jen jednu nohu najednou s tím, že se zbylé tři nohy dotýkají země. Robot tedy v každém okamžiku tvoří se zemí tři body dotyku, a zůstává tak staticky stabilní v postoji i v pohybu. Nevýhodou je nízká rychlost robotu. Během druhého způsobu se chůze čtyřnohého robotu jeví tak, jako by k sobě byly připevněny dva roboty dvounohé. V každém okamžiku se robot dotýká země právě dvěma nohama, a zachovává si tak svou dynamickou stabilitu. Rozdílem od způsobu prvního je vyšší rychlost, ale menší stabilita robotu. Čtyři nohy má kupříkladu k dispozici robot nesoucí název Spot (Obr. 11) vytvořený společností Boston Dynamics. Spot slouží k plnění úkolů, mezi které může patřit například sběr dat. [33] [36] [37]



Obr. 11) Krácející čtyřnohý robot Spot [38]

### Šestinohé roboty

Z již zmíněných kráčejících robotů jsou roboty šestinohé ty nejstabilnější. Příčinou vyššího stupně stability je větší počet noh. Perfektní rovnováhu jsou však schopné udržet již pomocí tří noh, zbylé nohy slouží mimo jiné ke zvýšení flexibility. Jejich chůze je realizována pohybem jednotlivých párů noh postupně za sebou anebo souběžným pohybem tří noh, přičemž mezi tuto trojici patří střídavě vždy jen jedna noha z páru. Jako příklad lze uvést šestinohý robot Rhex (Obr. 12) od společnosti Boston Dynamics, jenž vyniká svou vysokou mobilitou v drsném terénu. [36] [39]



Obr. 12) Kráčející šestinohý robot Rhex [40]



## 3 SYSTÉMOVÝ ROZBOR

V rámci této kapitoly je rozebrána struktura bakalářské práce. Systémový rozbor sestává z uvedení problému, shrnutí cílů práce, schématu postupu práce a schématu parametrů.

### 3.1 Problémová situace

V dnešní době se využívá lokomoční ústrojí jako součást servisních robotů, jenž mají na starost vykonávat zadané úkoly pouze mimo průmyslovou aplikaci. Většinou se uplatňují v oblastech výzkumu, obrany nebo kupříkladu v domácnosti v podobě autonomních robotických vysavačů. Také ne všem mobilním robotům je umožněn pohyb po schodech, tudíž nemohou provádět například dělnické práce v místech s výskytem schodů, které by robot musel zdolat po převoz materiálu či obklad schodů.

### 3.2 Formulace problému

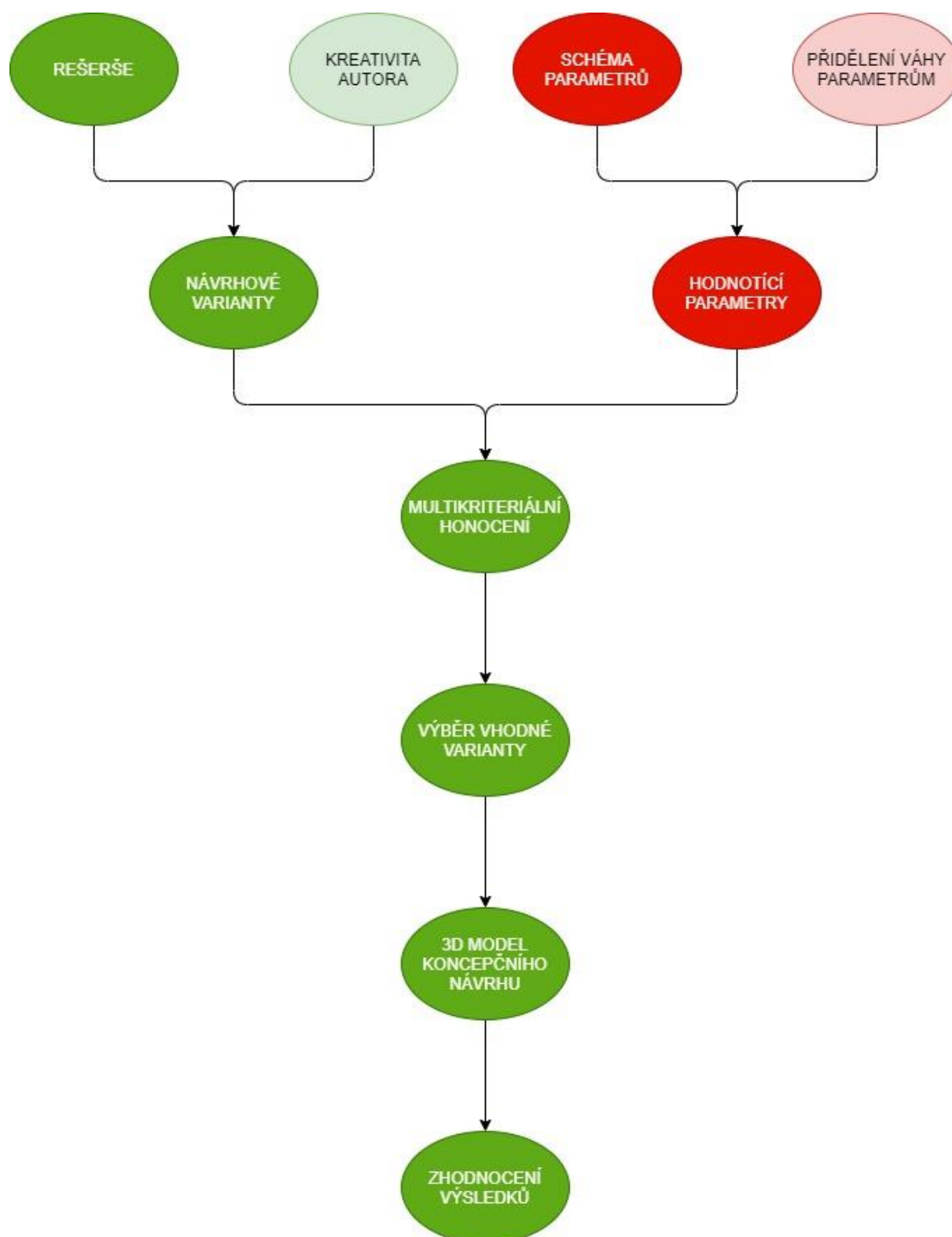
Problémem je zkonstruovat lokomoční ústrojí tak, aby bylo schopné transportovat robot po rovných či lomených schodech a mělo možnost adaptace na parametry schodiště.

### 3.3 Formulace cílů a shrnutí práce

- Přehled současného stavu poznání
- Vytvoření nejméně čtyř návrhových variant
- Vytvoření hodnotících parametrů
- Výběr vhodné varianty na základě multikriteriálního hodnocení
- Kompletní 3D model vybraného koncepčního návrhu
- Závěr a zhodnocení dosažených výsledků

Tato bakalářská práce otevírá téma koncepčního návrhu plošiny, na níž bude připevněn průmyslový robot schopný manipulace s různými předměty. Předpokladem konstrukce této plošiny je možnost překonávat rovné či lomené schody a přizpůsobit se rozměrům jednotlivých schodů, mezi které patří kupříkladu šířka stupně.

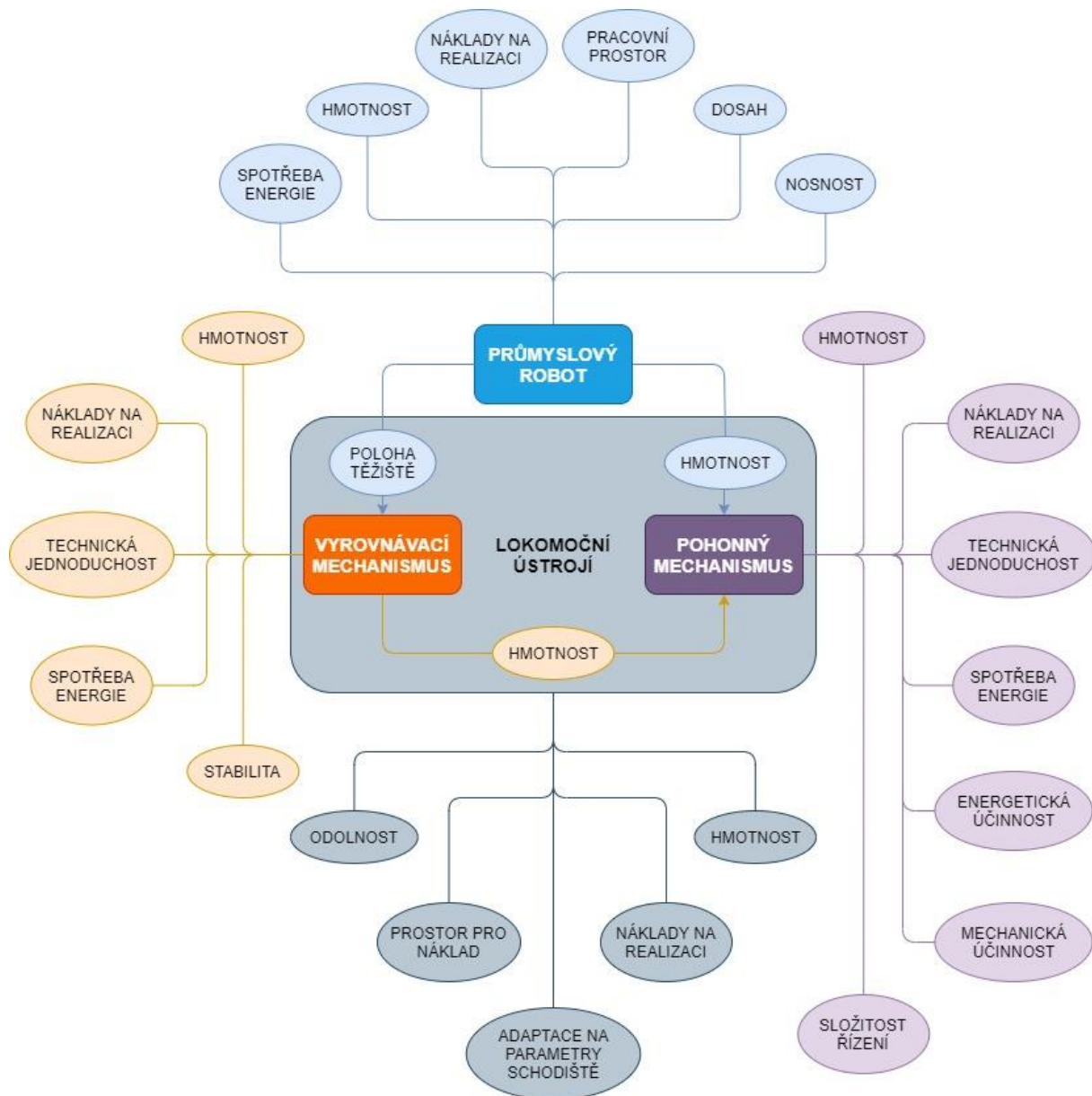
### 3.4 Dílčí kroky práce



Obr. 13) Schéma postupu při vypracování

### 3.5 Schéma parametrů

Cílem tohoto schématu (Obr. 14) je usnadnění práce při výběru hodnotících parametrů. Hlavní části robotu jsou označeny sytou barvou a jednotlivé parametry jsou označeny barvou bledou.



Obr. 14) Schéma parametrů





## 4 NÁVRHOVÉ VARIANTY

V této kapitole jsou prezentována čtyři různá možná řešení lokomočního ústrojí pro transport robotu po rovných či lomených schodech. V každé návrhové variantě je mobilní robot složen z navrhovaného podvozku (lokomočního ústrojí) a manipulačního zařízení ve formě průmyslového robotu. Jelikož se návrh manipulačního zařízení neřadí mezi cíle této bakalářské práce, nebude proto průmyslový robot podrobně rozebrán.

Všechny čtyři návrhové varianty vznikly na základě řešeršní činnosti, přičemž se ve většině případů používají v praxi u servisních robotů. Každé jednotlivé řešení se vyznačuje specifickými prvky, které mohou přinášet určité výhody, ale také nevýhody. V rámci varianty A je využita početnost kol umístěných na trojčípém držáku. Co se týče varianty B, ta představuje podvozek pohybující se pomocí stoupajících pásů. Varianta C našla inspiraci v přírodě, a to konkrétně u čtyřnohých živočichů. Poslední návrhová varianta D také využívá pásy jako varianta B s tím, že se jedná o jakousi její modifikaci.

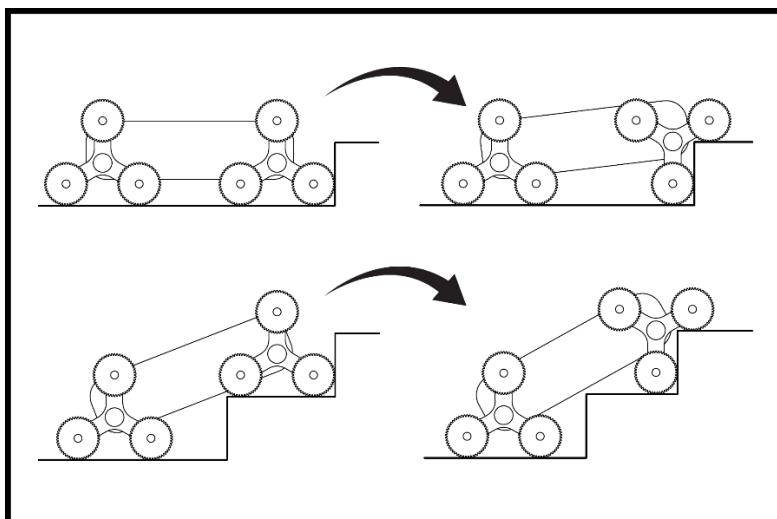
### 4.1 Varianta A

Pohyb robotu je uskutečněn zásluhou celkově dvanácti kol, jež jsou vždy po třech připevněna k tělu robotu prostřednictvím trojčípého držáku. Držák je navržen tak, aby před nájezdem robotu na schod bylo jedno kolo vždy situováno v horním vrcholu rovnostranného trojúhelníku (ve vrcholech tohoto geometrického útvaru leží středy jednotlivých kol). Zmíněné kolo má na starost nájezd na další schod, což dodává robotu schopnost pohybu po schodišti (Obr. 16).

Kolové lokomoční ústrojí (Obr. 15) přináší zejména výhodu vysoké stability. K jejímu ohrožení by nemělo dojít ani výskytem určitých nerovností například v podobě nepořádku na schodech, a to z důvodu existence relativně velkého prostoru mezi nejnižším bodem podvozku robotu (kromě kol) a povrchem, po kterém se robot pohybuje. V případě ztráty rovnováhy je tělo robotu z části chráněno koly, a tak by nemuselo dojít k závažnému poškození elektroniky či dalších důležitých součástí uvnitř těla. Hlavní nevýhodou této varianty je neuspokojivá adaptace na schody, kdy by příliš vysoký schod mohl robotu zamezit pokračování v jízdě. Také může dojít k podřetí schodiště vlivem tlaku kol na čelní stranu schodů.



Obr. 15) Model varianty A



Obr. 16) Pohyb varianty A po schodech

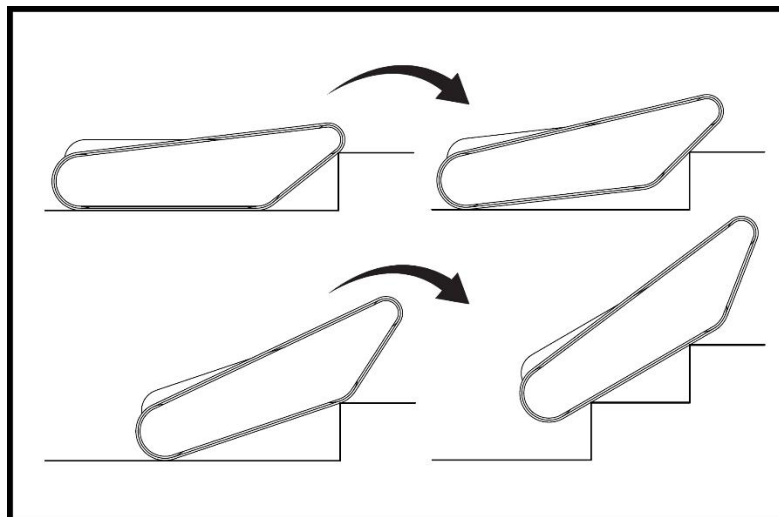
## 4.2 Varianta B

Varianta B prezentuje robot přemísťující se prostřednictvím dvou pásů. Tyto pásy postupně stoupají, což vytváří na konci plochy dotyku pásů s povrchem prudký vzestup, díky kterému je robot schopen na schody najet (Obr. 18). Podobné pásy lze pozorovat u tanku. Rozdíl je akorát ten, že má tank zmíněný vzestup ve přední i zadní části vozidla.

Mezi nejvýraznější výhody této varianty (Obr. 17) patří mobilita po nerovném terénu a snadné otočení kolem vertikální osy, což přináší robotu plynulý pohyb po rovných i lomených schodech. Z toho plyne, že se robot této varianty může lépe přizpůsobit schodům než robot varianty A. Mimo schodiště by se měl robot jevit stabilně, ovšem při pohybu po schodech by mohl nastat problém v případě, kdy by jeden pás zabral více než druhý, a robot by tak mohl ztratit stabilitu a při nejhorším spadnout ze schodů. Výskyt potíží by se také mohl objevit ve chvíli, kdy by se robot chystal sjet ze schodů a dopadem na schodiště by vznikl příliš velký náraz.



Obr. 17) Model varianty B



Obr. 18) Pohyb varianty B po schodech

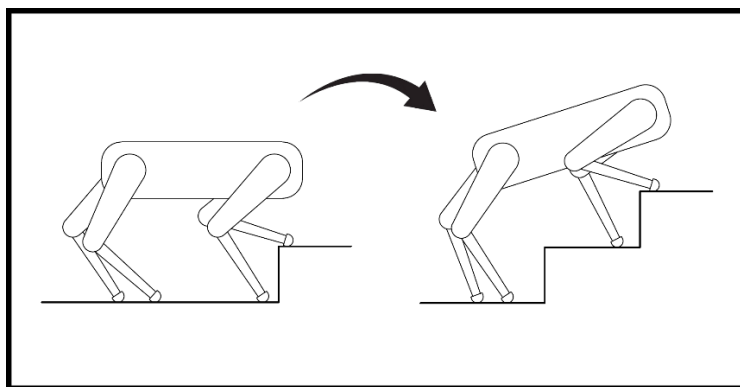
### 4.3 Varianta C

Nejen z vizuálního hlediska, ale také svým pohybem robot varianty C připomíná psa. Stejně jako zmíněný živočich využívá pro svůj pohyb čtyři nohy, a proto se dokáže přemísťovat poměrně rychle. Pohyb po schodech (Obr. 20) bude tedy fungovat podobně jako u onoho čtyřnohého mazlíčka.

Robot s kráčejícím podvozkem (Obr. 19) má oproti robotu s podvozkem kolovým vyšší energetickou účinnost a stabilitu, ačkoliv právě stabilita činí největší problém kráčejících robotů. Dosažení tak vysoké stability poukazuje na fakt, jak složitá tato zařízení jsou. Díky své široké mobilitě by tento robot neměl mít problém s přizpůsobením se rovným i lomeným schodům. Co se rychlosti týče, na strukturovaném terénu bude sice pomalejší než robot kolový, ovšem na schodišti by ho měl tento kráčející robot překonat. Robot této varianty bude také zvládat operovat na měkkém terénu, ovšem povrchy jako je kupříkladu podlahový rošt mu budou činit velké problémy. Na úkor zmíněných výhod však přichází vyšší cena, složitý řídicí systém a vysoká spotřeba energie.



Obr. 19) Model varianty C



Obr. 20) Pohyb varianty C po schodech

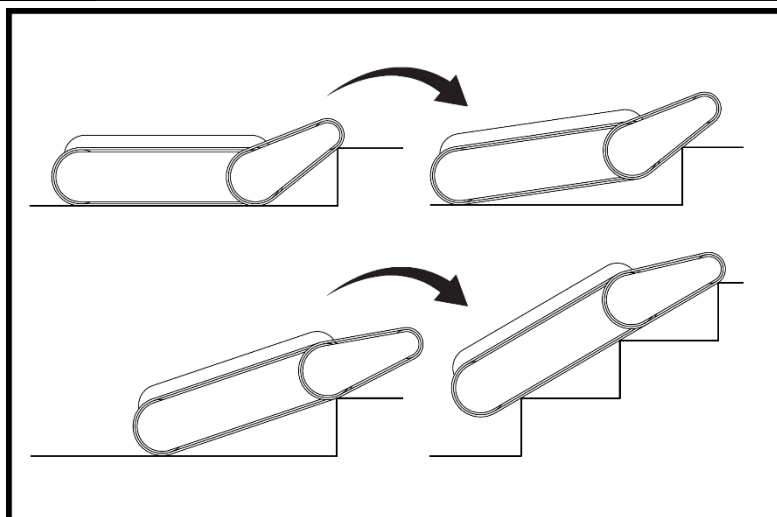
#### 4.4 Varianta D

Varianta D je víceméně modifikací varianty B s tím, že transport průmyslového robotu bude probíhat velice podobným způsobem. Hlavní změna přichází v přední části robotu v podobě přidání dvou menších naklopitelných pásů. Původní dvojice pásů již nebude podél těla robotu stoupat, zůstane však zarovnaná s horizontální rovinou. Zásluhou zmíněných předních pásů bude robot moci na schody najet, přičemž mu posléze pomohou k plynulejšímu pohybu po schodišti (Obr. 22).

Co se týče výhod a nevýhod, rozdíly mezi touto variantou (Obr. 21) a variantou B (Obr. 17) jsou docela malé. Varianta D se ovšem může jevit v oku strojaře jako ta výhodnější možnost, a to převážně z důvodu lepší stability. V momentě, kdy se bude robot chystat sjet ze schodiště dolů, sklopí přední pásy pod takovým úhlem, aby lépe dosedl na schodiště a nevznikl tak náraz, který by ho mohl vyvést z rovnováhy. U této varianty je také nižší pravděpodobnost ztráty stability v případě většího záběru jednoho z pásů při pohybu po schodišti, a to právě díky oněm předním pásům. Ty dokážou robot poměrně snadno srovnat, přičemž jejich sklopením dojde ke zvětšení celkové plochy dotyku robotu s povrchem. Oproti variantě B bude mít varianta D nevýhodu širšího lokomočního ústrojí (přední pásy jsou připojeny z boku zadních pásů), větší spotřeby energie a celkově vyšší ceny.



Obr. 21) Model varianty D



Obr. 22) Pohyb varianty D po schodech



## 5 MULTIKRITERIÁLNÍ HODNOCENÍ

Ke zvolení vhodné varianty dojde na základě multikriteriální analýzy, jež funguje na bázi váženého průměru. Hodnotící parametry u každé varianty reprezentují příslušné hodnoty, které jsou vynásobeny jednotlivými váhami, jež jsou přiděleny daným parametrům. Maximální podíl součtu těchto násobků a sumy všech vah hodnotících parametrů je rozhodující pro výběr varianty. Váhy parametrů i hodnoty reprezentující parametry náleží intervalu od 0 do 10, přičemž 10 značí nejlepší a 0 nejhorší.

### 5.1 Hodnotící parametry

Selekce hodnotících parametrů proběhla podle velikosti jejich vlivu na výběr dané varianty. Tyto parametry lze nalézt ve schématu v kapitole 3.5. Hodnoty, jimiž jsou reprezentovány, závisí na tom, jak moc je konkrétní varianta vhodná v rámci daného hodnotícího parametru.

- $P_1$  – Technická jednoduchost
- $P_2$  – Adaptace na parametry schodiště
- $P_3$  – Hmotnost
- $P_4$  – Náklady na realizaci
- $P_5$  – Energetická náročnost
- $P_6$  – Stabilita
- $P_7$  – Odolnost
- $P_8$  – Prostor pro náklad
- $P_9$  – Dosah průmyslového robotu

#### 5.1.1 Přiřazení váhy hodnotícím parametrům

Velikost váhy jednotlivých hodnotících parametrů závisí přímo úměrně na tom, jak moc je daný parametr podstatný.

Tab 1) Váha parametrů s odůvodněním

Parametr	Váha	Zdůvodnění
$P_1$	$V_1 = 4$	S tímto parametrem souvisí případné opravy robotu, což se také promítne na ceně.
$P_2$	$V_2 = 10$	Parametr, na kterém závisí schopnost robotu zdolávat rovné či lomené schody.
$P_3$	$V_3 = 6$	Parametr rozhodující o velikosti potřebného výkonu motoru pro pohon robotu.
$P_4$	$V_4 = 3$	Parametr představující celkovou hodnotu robotu.
$P_5$	$V_5 = 4$	V místech s absencí zásuvky bude muset být využit akumulátor, jehož hmotnost, velikost a cena se budou zvyšovat s rostoucí energetickou náročností mobilního zařízení.
$P_6$	$V_6 = 10$	Parametr podstatný pro setrvání robotu v rovnovážné poloze.

P <sub>7</sub>	V <sub>7</sub> = 7	Parametr souvisí s funkčností robotu. Jedná se o mechanickou odolnost, ale také o odolnost vůči znečištění v podobě prachu či malty.
P <sub>8</sub>	V <sub>8</sub> = 8	Parametr ovlivňující velikost transportovaného nákladu.
P <sub>9</sub>	V <sub>9</sub> = 8	Parametr, na němž závisí činnost průmyslového robotu.

## 5.2 Varianta A

Tab 2) Hodnoty parametrů varianty A s odůvodněním

Parametr	Hodnota parametru	Zdůvodnění
P <sub>1</sub>	HP <sub>A1</sub> = 9	Pohyb podvozku sice funguje na základě systému tří kol, ale přeci jen tento způsob patří mezi technicky jednodušší varianty.
P <sub>2</sub>	HP <sub>A2</sub> = 2	Systém tří kol musí být navržen tak, aby odpovídal vyměřeným parametrům schodiště. Lomené schody by mohly představovat problém.
P <sub>3</sub>	HP <sub>A3</sub> = 7	Prostřednictvím programu Inventor byla měřena hmotnost robotu.
P <sub>4</sub>	HP <sub>A4</sub> = 7	Kola se jeví jako docela levné řešení.
P <sub>5</sub>	HP <sub>A5</sub> = 6	Kolový podvozek není energeticky náročný.
P <sub>6</sub>	HP <sub>A6</sub> = 6	Kola tohoto lokomočního ústrojí se po většinu času budou dotýkat povrchu, stabilitu by však mohly ohrozit rozměry schodiště.
P <sub>7</sub>	HP <sub>A7</sub> = 5	Při ztrátě stability by mohlo dojít k porušení držáků na kola.
P <sub>8</sub>	HP <sub>A8</sub> = 5	Těla všech variant jsou navržena velikostně stejně.
P <sub>9</sub>	HP <sub>A9</sub> = 6	Dosah průmyslového robotu by mohla ovlivnit velikost držáku na kola a velikost samotných kol.

$$\varepsilon_A = \frac{\sum_{i=1}^9 HP_{Ai} \cdot V_i}{\sum_{i=1}^9 V_i} \quad (1)$$

$$\varepsilon_A = \frac{9 \cdot 4 + 2 \cdot 10 + 7 \cdot 6 + 7 \cdot 3 + 6 \cdot 4 + 6 \cdot 10 + 5 \cdot 7 + 5 \cdot 8 + 6 \cdot 8}{4 + 10 + 6 + 3 + 4 + 10 + 7 + 8 + 8} \doteq 5,4$$



### 5.3 Varianta B

Tab 3) Hodnoty parametrů varianty B s odůvodněním

Parametr	Hodnota parametru	Zdůvodnění
P <sub>1</sub>	HP <sub>B1</sub> = 7	Pásové lokomoční ústrojí je s ohledem na technickou jednoduchost poměrně vhodné řešení.
P <sub>2</sub>	HP <sub>B2</sub> = 7	Pásový podvozek poskytuje adaptaci na rozličné parametry schodů.
P <sub>3</sub>	HP <sub>B3</sub> = 8	Prostřednictvím programu Inventor byla měřena hmotnost robotu.
P <sub>4</sub>	HP <sub>B4</sub> = 6	Z ekonomického hlediska jsou pásy relativně vhodné řešení.
P <sub>5</sub>	HP <sub>B5</sub> = 5	Spotřeba energie je o něco větší než u varianty A v důsledku použití pásů.
P <sub>6</sub>	HP <sub>B6</sub> = 7	Pásový podvozek přináší vysokou stabilitu, k její ztrátě by mohlo dojít v případě nájezdu na schody při cestě dolů ze schodiště nebo při vyšším záběru jednoho z pásů.
P <sub>7</sub>	HP <sub>B7</sub> = 9	Pásové lokomoční ústrojí je velice odolné.
P <sub>8</sub>	HP <sub>B8</sub> = 5	Těla všech variant jsou navržena velikostně stejně.
P <sub>9</sub>	HP <sub>B9</sub> = 7	Dosah průmyslového robotu by mohly omezit stoupající pásy.

$$\varepsilon_B = \frac{\sum_{i=1}^9 HP_{Bi} \cdot V_i}{\sum_{i=1}^9 V_i} \quad (2)$$

$$\varepsilon_B = \frac{7 \cdot 4 + 7 \cdot 10 + 8 \cdot 6 + 6 \cdot 3 + 5 \cdot 4 + 7 \cdot 10 + 9 \cdot 7 + 5 \cdot 8 + 7 \cdot 8}{4 + 10 + 6 + 3 + 4 + 10 + 7 + 8 + 8} \doteq 6,9$$

## 5.4 Varianta C

Tab 4) Hodnoty parametrů varianty C s odůvodněním

Parametr	Hodnota parametru	Zdůvodnění
P <sub>1</sub>	HP <sub>C1</sub> = 2	Kráčející lokomoční ústrojí je velmi složité zařízení.
P <sub>2</sub>	HP <sub>C2</sub> = 10	Podvozek opatřený čtyřma dlouhýma nohama by se měl přizpůsobit téměř jakýmkoliv schodům.
P <sub>3</sub>	HP <sub>C3</sub> = 5	Prostřednictvím programu Inventor byla měřena hmotnost robotu.
P <sub>4</sub>	HP <sub>C4</sub> = 2	Lokomoční ústrojí disponující nohama je drahé.
P <sub>5</sub>	HP <sub>C5</sub> = 2	Vysoká spotřeba energie pramení z mnoha zařízení potřebných pro chod tohoto robotu (servomotory jednotlivých noh, gyroskop, atd.).
P <sub>6</sub>	HP <sub>C6</sub> = 8	Poměrně vysoká stabilita ovlivňuje ostatní parametry (kupříkladu náklady na realizaci).
P <sub>7</sub>	HP <sub>C7</sub> = 4	Riziko poruchy noh při těžkém pádu.
P <sub>8</sub>	HP <sub>C8</sub> = 5	Těla všech variant jsou navržena velikostně stejně.
P <sub>9</sub>	HP <sub>C9</sub> = 3	Dosah průmyslového robotu bude redukován dlouhýma nohama lokomočního ústrojí.

$$\varepsilon_C = \frac{\sum_{i=1}^9 HP_{Ci} \cdot V_i}{\sum_{i=1}^9 V_i} \quad (3)$$

$$\varepsilon_C = \frac{2 \cdot 4 + 10 \cdot 10 + 5 \cdot 6 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 4 + 8 \cdot 10 + 4 \cdot 7 + 5 \cdot 8 + 3 \cdot 8}{4 + 10 + 6 + 3 + 4 + 10 + 7 + 8 + 8} \doteq 5,4$$

## 5.5 Varianta D

Tab 5) Hodnoty parametrů varianty D s odůvodněním

Parametr	Hodnota parametru	Zdůvodnění
P <sub>1</sub>	HP <sub>D1</sub> = 6	V rámci technické jednoduchosti bude tento typ podvozku o něco složitější než u varianty B.
P <sub>2</sub>	HP <sub>D2</sub> = 9	Pásové lokomoční ústrojí s předními naklápacími pásy umožňuje adaptaci na různé parametry schodů.
P <sub>3</sub>	HP <sub>D3</sub> = 7	Prostřednictvím programu Inventor byla měřena hmotnost robotu.
P <sub>4</sub>	HP <sub>D4</sub> = 5	Vhodné, ale o něco dražší řešení než varianta B.
P <sub>5</sub>	HP <sub>D5</sub> = 4	Spotřeba energie bude o něco vyšší než u varianty B v důsledku servomotorů potřebných pro nakládění předních pásů.
P <sub>6</sub>	HP <sub>D6</sub> = 10	Pásový podvozek zajišťuje vysokou stabilitu, díky předním naklápacím pásům by nemělo dojít k problémům v rámci stability jako u varianty B.
P <sub>7</sub>	HP <sub>D7</sub> = 8	Pásové lokomoční ústrojí je velmi odolné, při ztrátě stability by však mohlo dojít k poškození naklápacích pásů.
P <sub>8</sub>	HP <sub>D8</sub> = 5	Těla všech variant jsou navržena velikostně stejně.
P <sub>9</sub>	HP <sub>D9</sub> = 9	Dosah průmyslového robotu by neměl být nijak omezen.

$$\varepsilon_D = \frac{\sum_{i=1}^9 HP_{Di} \cdot V_i}{\sum_{i=1}^9 V_i} \quad (4)$$

$$\varepsilon_D = \frac{6 \cdot 4 + 9 \cdot 10 + 7 \cdot 6 + 5 \cdot 3 + 4 \cdot 4 + 10 \cdot 10 + 8 \cdot 7 + 5 \cdot 8 + 9 \cdot 8}{4 + 10 + 6 + 3 + 4 + 10 + 7 + 8 + 8} \doteq 7,6$$

## 5.6 Výběr vhodné varianty

Na základě multikriteriální analýzy bylo zjištěno, že varianta D se jeví jako nejvhodnější řešení. Hned za ní se umístila varianta B. Varianta A s variantou C jsou pro řešení dané problematiky vhodné nejméně.

Tab 6) Výsledky multikriteriálního hodnocení

	Varianta			
	A	B	C	D
<b>Hodnocení</b>	$\varepsilon_A = 5,4$	$\varepsilon_B = 6,9$	$\varepsilon_C = 5,4$	$\varepsilon_D = 7,6$



## 6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Mobilní robot je tvořen lokomočním ústrojím sestávajícím z vyrovnávacího a pohonného mechanismu a manipulačního zařízení připojeného na plošinu. Podvozek robotu využívá pro svůj pohyb celkově 4 pásy, přičemž se přední dva dají naklápět. Hlavní úlohou naklápěcích pásů je možnost nájezdu na schodiště, dále pak zaručení plynulejšího a stabilnějšího pohybu po schodech ve srovnání s jinými typy podvozků. Co se zmiňovaných mechanismů týče, vyrovnávací mechanismus v tomto případě představuje celkové řešení, jak byl podvozek navržen. Pásové lokomoční ústrojí je oproti manipulačnímu zařízení mnohem těžší s tím, že je tato hmotnost rovnoměrně rozložena mezi koly pásů, což dodává mobilnímu robotu požadovanou rovnováhu. Tím pádem nebylo nutné při řešení tohoto problému konstruovat zařízení přímo určené k vyrovnávání mobilního robotu. Pohonný mechanismus funguje na principu pohánění dvojice zadních pásů. Manipulační zařízení představuje kolaborativní průmyslový robot UR3e (dosah 500 mm) od společnosti Universal Robots [41], jehož ústředním úkolem je obklad schodů.

Na počátku konstrukčního řešení byly stanoveny dva základní předpoklady. Prvním je maximální hmotnost mobilního robotu. Ta se při součtu hmotností průmyslového robotu (11 kg), manipulovaného závaží (3 kg) a předpokládané hmotnosti lokomočního ústrojí (40 kg) vyšplhala na 54 kilogramů celého zařízení. Druhým předpokladem je geometrie schodišť, které by měl být mobilní robot schopen zdolat. V ideálním případě se jedná o schopnost pohybu po normálních schodech s parametry: 170 mm výška stupně, 290 mm šířka stupně, 1000 mm délka schodu, 30° sklon schodiště. V nejkritičtějších případech by měl však zvládat i schodiště se sklonem 35°, jež už se považuje za strmé. Podvozek je díky naklápěcím pásům vysoce adaptovatelný, a tak by pro něj i lomené schody neměly být překážkou. Ve skutečnosti by měla hmotnost mobilního robotu činit hodnotu menší, než je 54 kg. Robot je ovšem cíleně naddimenzován kvůli rezervám pro případné úpravy (např. elektroniky, zahrnutí hmotnosti kabeláže, senzoriky...).

Mobilní robot se skládá z několika důležitých částí, které budou rozebrány v následujících podkapitolách.

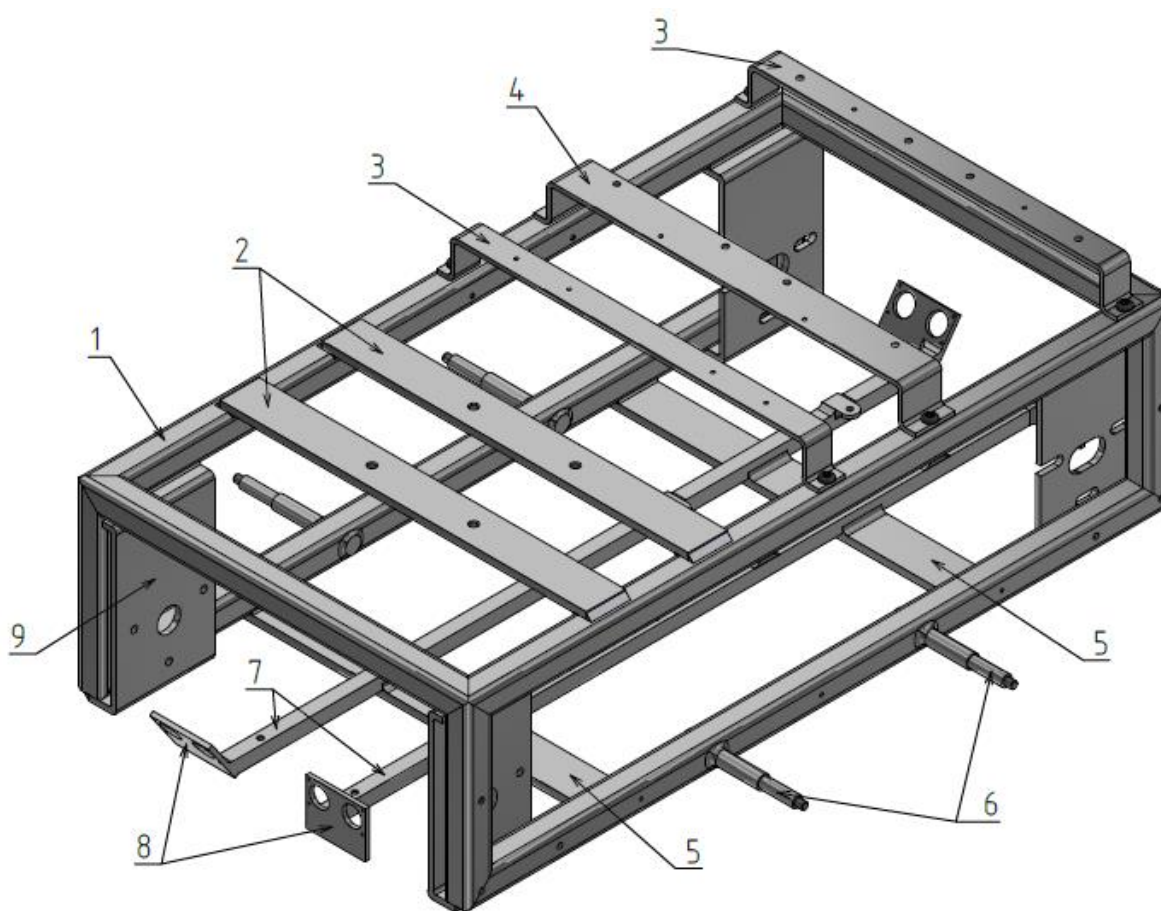
### 6.1 Rámová konstrukce

Rámová konstrukce (Obr. 23) tvoří tělo mobilního robotu. Sestává z deseti čtvercových trubek 20x20x2 ČSN 42 6935 z nelegované oceli (1) pro kvalitní svaření. Rozměry této konstrukce byly navrženy na základě předpokládaných velikostí všech komponent, které bylo potřeba umístit do těla robotu. Z toho důvodu má konstrukce na délku 540 mm, na šířku 300 mm a na výšku 140 mm. Aby byl ovšem zajištěn bezproblémový chod mobilního robotu, musela tato konstrukce projít několika zásadními úpravami, proto se její finální rozměry o něco liší.

K bokům rámové konstrukce jsou na obou stranách přivařeny dva čepy (6), vyrobeny z kruhových tyčí Ø12x92 ČSN 42 6510.12 z oceli S235JRG1, sloužící k uložení pomocných koleček, jejichž cílem je zamezit přílišnému propínání zadních pásů při pohybu po schodech. Dále je v přední části plošiny k vrchní části rámu svařem připevněna dvojice plochých tyčí 30x5 ČSN EN 10058 z oceli S235JR (2), která je využita k uchycení průmyslového robotu. Stejná dvojice tyčí (5) je pak přivařena zespod rámu pro přichycení dvou čtvercových tyčí 10x10

ČSN 42 6520.12 z oceli S235JRG1 (7), jež mají na starost uložení průmyslového zdroje s akumulátorem. Obě čtvercové tyče mají na svých koncích navařeny plechy (8) sloužící k uchycení čidel. Posledními navařenými prvky k rámové konstrukci jsou čtyři tyče tvaru U 130 DIN 1026-1 z oceli S235JR (9), jež byly náležitě obrobeny, aby na ně bylo možné přimontovat motory pro pohon robotu a nakládění předních pásů.

Kvůli vymezení prostoru pro elektroniku byl vyvýšen odkládací prostor nacházející se v zadní části mobilního robotu, a to přimontováním tří ocelových tyčí k vrchní straně plošiny. Krajní dvě jsou tyče ploché 20x3 ČSN EN 10058 z oceli S235JR (3), přičemž prostřední tyč (4) se od nich liší pouze svou šířkou (30x3), a to především kvůli organizaci uložení elektroniky a zpevnění odkládacího prostoru.



Obr. 23) Rámová konstrukce

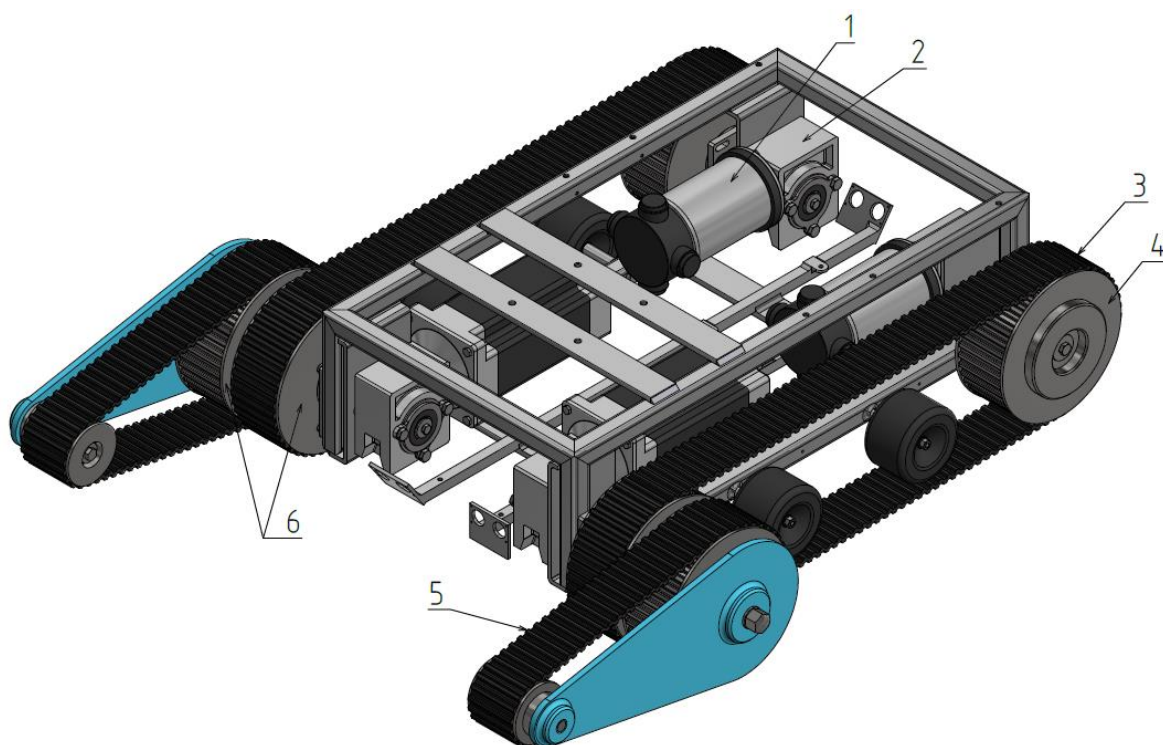
Hmotnost konstrukce by se dala velmi snadno snížit použitím polotovarů z hliníkových slitin, ale volba ocelových materiálů je zde cílená kvůli vyšší hmotnosti pro zajištění stability. Aby rámová konstrukce nekorodovala, musí se natřít základovou barvou a poté ještě barvou ochrannou. Jelikož se jedná o tenkostěnné trubky, musí být svařování provedeno s citem, aby nedocházelo k velkým deformacím (ohybům) a tím pádem k nepřesnostem.

## 6.2 Pohonný mechanismus

Pohon lokomočního ústrojí (Obr. 24) je řešen náhonem na zadní kola prostřednictvím dvou stejnosměrných motorů (1), díky čemuž lze zajistit regulovaný směr pohybu (jízdu vpřed, jízdu vzad a otáčení). Každý z nich má na starost pohon jednoho ze zadních pásů (3) robotu. Jako zadní pásy byly voleny oboustranné ozubené řemeny 50-DT10-1350, Z135 z polyuretanu, které právě díky své oboustrannosti přinášejí vyšší přizpůsobivost terénu. Pohyb je na tyto pásy přenášen prostřednictvím hliníkových ozubených řemenic 66 T10/44-2 DIN 7721-2 opatřených bočnicemi z pozinkované oceli.

Zadní řemenice (4) jsou připevněny k poháněným hřídelím pomocí těsných per. Axiálnímu pohybu řemenice je pak zamezeno pojistným kroužkem ze strany vnitřní a ze strany vnější přitlačením podložky k řemenici pomocí šroubu. Poháněná hřídel  $\varnothing 20 \times 160$  ČSN 42 6510.12 z oceli S235JRG1 vede do těla robotu skrz ložiskovou jednotku až do převodovky (2), kde je opět použito těsné pero pro její uložení. Poháněná hřídel je pak pohybově omezena ve směru osy prostřednictvím podložky, jež je přitlačena k převodovce pomocí šroubu.

V přední části podvozku se pak na každé straně nachází dvojice řemenic (6), které jsou k sobě přišroubovány. K tomuto spojení došlo z důvodu přenosu pohybu ze zadních pásů na pásy přední – oboustranné ozubené řemeny 50-DT10-750, Z75 z polyuretanu (5). Jelikož se tyto řemenice nacházejí na hřídelích sloužících k naklápění, mají v sobě každá z nich nalisována dvě ložiska, což zajistí nerušený chod naklápěcích hřídelí. Pohyb v axiálním směru jim je znemožněn aplikací distančních kroužků.

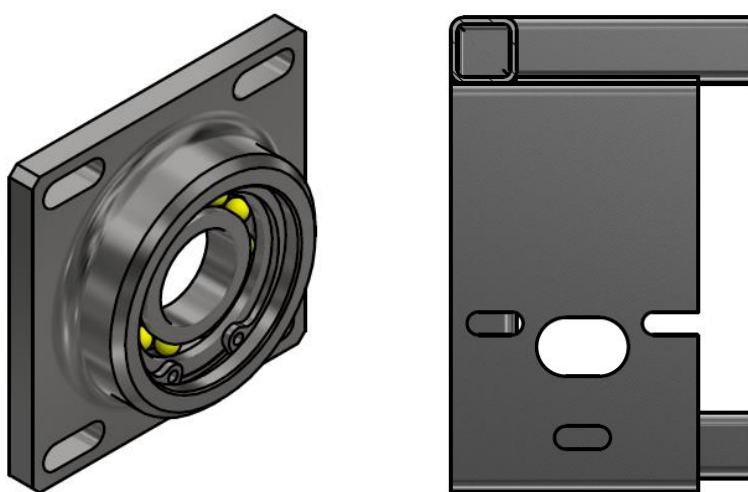


Obr. 24) Pohonný mechanismus

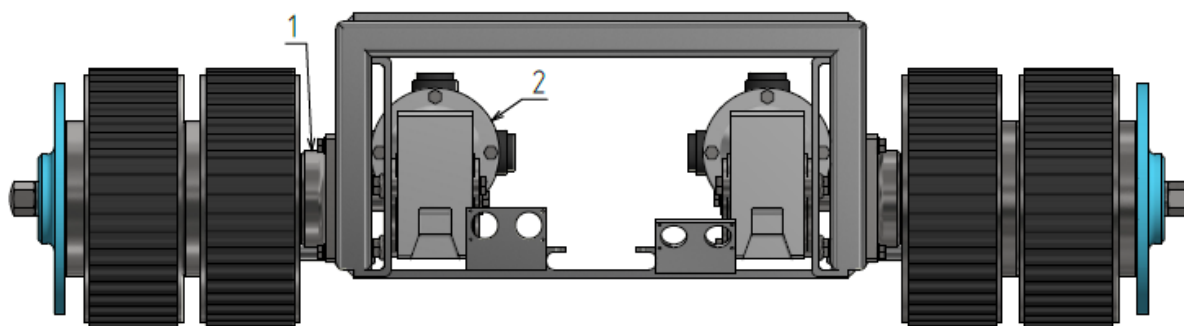
### 6.2.1 Napínání řemenů

Po čase, kdy je robot vystaven nepřetržitému fungování v praxi, začne docházet k povolování řemenů. Proto je nutné zajistit způsob, jakým mohou být řemeny napínány (Obr. 26). V tomto případě je problém vyřešen vyřezáním drážek do ložiskových jednotek (Obr. 25a) a tyčí sloužících k uchycení stejnosměrných motorů (Obr. 25b). Napnutí řemenů bude docíleno posunutím ložiskových jednotek (1) i elektromotorů pro pohon robotu (2).

Ložisková jednotka se skládá z kuličkového ložiska vloženého do krytu, ve kterém je zajištěno vnitřním pojistným kroužkem a menším průměrem otvoru v krytu, než je vnější průměr ložiska. Ložiskové jednotky jsou celkově čtyři a k rámu jsou přimontovány z vnější strany. Jediným rozdílem ložiskových jednotek použitých v přední části podvozku jsou díry pro uchycení. Již se nejedná o drážky, jako to bylo vzadu podvozku, ale o otvory s vnitřními závity, a to hlavně z důvodu snadnější montáže.



Obr. 25) a) Ložisková jednotka, b) Tyč tvaru U pro uchycení stejnosměrných motorů



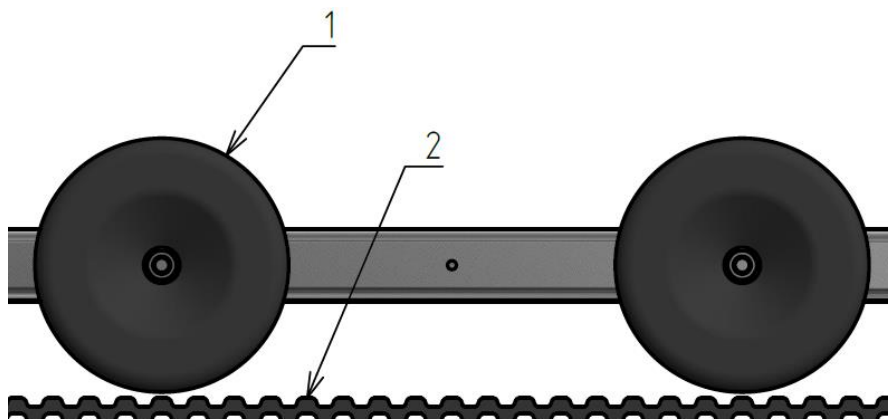
Obr. 26) Napínání řemenů

### 6.2.2 Pomocná kolečka

Pomocná kolečka (Obr. 27) byla použita za účelem zmírnění propínání zadních pásů při pohybu po schodech. Přesněji řečeno se jedná o gumová kolečka z longboardu – relativně jednoduché a levné řešení. Jak už bylo dříve zmíněno, kolečka jsou nasunuta na boční čepy. V axiálním pohybu jsou omezena pomocí matice s podložkou zvenčí a průměrem čepu větším, než je vnitřní průměr koleček, ze strany vnitřní. Již z výroby mají v sobě umístěná ložiska, nebude tedy problém s jejich točením. Kolečka (1) jsou situována přibližně ve vzdálenosti



2 mm od vnitřních zubů řemene (2), a proto budou v době, kdy robot pojede po rovném povrchu, nečinné.

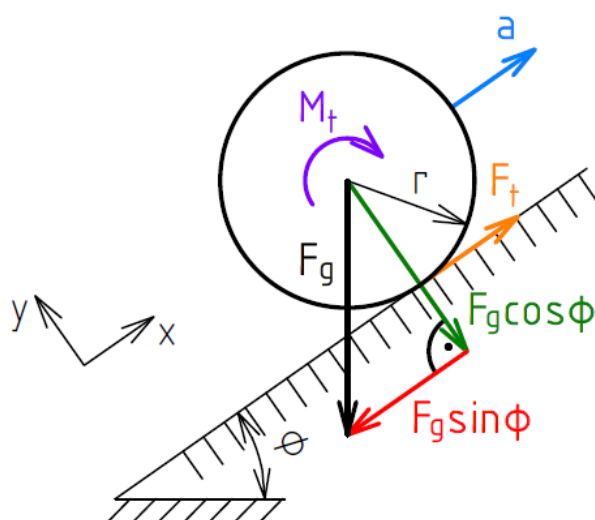


Obr. 27) Pomocná kolečka

### 6.2.3 Výběr elektromotorů

Konkrétně byla pro pohon robotu volena dvojice 24 V stejnosměrných motorů se šnekovou převodovkou NDCM180/026 U od firmy Raveo, jejichž hlavní výhodou je poměrně nízká cena v porovnání s vysokou spolehlivostí, která se předpokládá, protože jde o průmyslové řešení. 250 W elektromotor dokáže při převodu 1:30 dosáhnout rychlosti otáčení  $100 \text{ ot.min}^{-1}$  a vyvinout moment až 17 Nm. Zmíněné parametry jsou velice důležité, protože na jejich základě byl daný elektromotor vybrán. Všem předcházelo stanovení základních výpočtů, jimiž je celá selekce motorů podložena. K urychlení tohoto procesu byla využita internetová stránka [42] sloužící jako pomocný nástroj.

Pro náležitý výběr elektromotoru je třeba počítat s nejkritičtější situací, ve které se může mobilní robot vyskytnout. V našem případě se jedná o zrychlování robotu na schodišti se sklonem  $35^\circ$  (Obr. 28). Také je nutné nezanedbat tření, protože právě třecí síla vyvolává moment, který je třeba překonat.



Obr. 28) Schéma zrychlování kola robotu po nakloněné rovině

Před samotným výpočtem točivého momentu je nutné uvést dva důležité vztahy. Prvním je vztah pro výpočet třecí síly (5):

$$F_t = \frac{M_t}{r} \quad (5)$$

Druhým významným vztahem je součet všech sil působících v ose x, jenž se podle druhého Newtonova pohybového zákona rovná součinu hmotnosti a zrychlení tělesa (6).

$$\sum F_x : F_t - F_g \cdot \sin \phi = m \cdot a \quad (6)$$

Z toho vyplývá (7):

$$M_t = m \cdot r \cdot (a + g \cdot \sin \phi) \quad (7)$$

Tento vztah ovšem platí pouze pro jeden motor, a to bez zahrnutí účinnosti. Rovnici je tedy potřeba vydělit počtem motorů  $N = 2$  a účinností  $\eta = 0,65$  (8). Co se týče ostatních parametrů, v našem případě je maximální hmotnost robotu  $m = 54$  kg, poloměr kola  $r = 69,1$  mm, zrychlení robotu  $a = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ , tíhové zrychlení  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  a úhel sklonu schodiště  $\phi = 35^\circ$ .

$$M_t = \frac{m \cdot r \cdot (a + g \cdot \sin \phi)}{N \cdot \eta} \quad (8)$$

$$M_t = \frac{54 \cdot 0,0691 \cdot (0,2 + 9,81 \cdot \sin 35^\circ)}{2 \cdot 0,65} = 16,7 \text{ Nm}$$

Dalším významným údajem je velikost výkonu motoru. Předtím je však nutné určit úhlovou rychlost kola (9) s tím, že počítáme s rychlostí robotu  $v = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

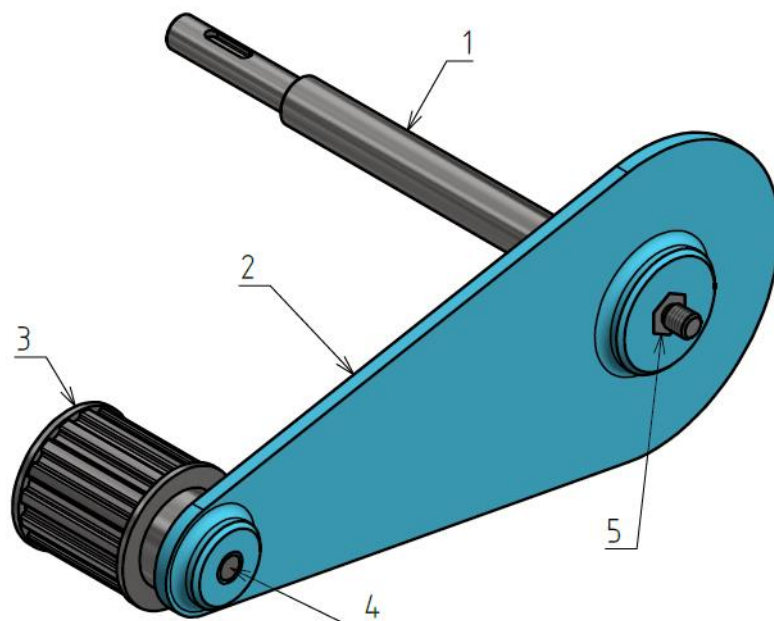
$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{1}{0,0691} = 14,5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (9)$$

Výkon motoru je roven (10):

$$P = M_t \cdot \omega = 16,7 \cdot 14,5 = 242 \text{ W} \quad (10)$$

### 6.3 Naklápěcí mechanismus

Naklápění předních pásů (Obr. 29) je na obou stranách robotu realizováno prostřednictvím hřídele Ø20x264 ČSN 42 6510.12 z oceli S235JRG1 (1), jež má na jednom ze svých konců vyfrézovaný šestihran (5). Stejný šestihran je protlačen do plechu tloušťky 6 mm (2), aby se plech otáčel s hřídelí jednotně. Na zúženém konci plechu je zhotoven závit pro čep (4) vyrobený z kruhové tyče Ø19x84 ČSN 42 6510.12 z oceli S235JRG1, na němž je nasunuta řemenice 66 T10/18-2F DIN 7721-2 (3) stejné šířky i materiálu jako zbylé řemenice s rozdílem menšího průměru. V této řemenici je umístěna dvojice kuličkových ložisek zajišťující bezproblémový pohyb předních pásů. Ložiska jsou axiálně vymezena menším vnitřním průměrem řemenice a z vnější strany distančním kroužkem a samotným čepem.



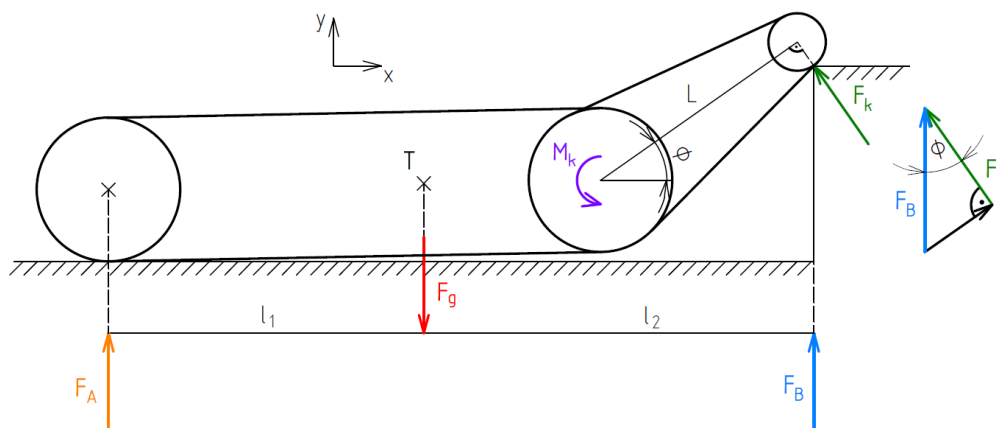
Obr. 29) Naklápěcí mechanismus

Na konci šestihranu naklápěcí hřídele je zhotoven závit, na kterém je nasazena matice. Plech je tímto upevněn a nemůže dojít k jeho pohybu ve směru osy hřídele. Hřídel putuje přes ložiskovou jednotku do těla robotu, kde je uložena ve šnekové převodovce těsným perem a axiálně vymezena podložkou, jež je přitlačena k boku převodovky šroubem. Pohonem celého naklápění je dvojice krokových motorů připojených ke zmíněným převodovkám.

### 6.3.1 Výběr elektromotorů

Pro naklápění hřídelí vepředu podvozku byla volena dvojice 24 V krokových motorů NEMA 34 HS 200 3462 0800 z důvodu možnosti setrvání v náležité poloze. To mobilní robot hojně využije při pohybu na schodišti. Krokový motor, jenž je samotný schopen vyvinout moment o velikosti 12 Nm, je připojen ke šnekové převodovce CM 026 U. Díky patřičnému převodu lze dosáhnout potřebného momentu k překonání krouticího momentu  $M_k$  vzniklého na hřídeli při nájezdu na schody.

V nejkritičtější situaci bude robot v momentě nájezdu na schodiště, kdy se jeho přední část těsně odlepí od země (Obr. 30). V tu chvíli bude působit v ose naklápěcí hřídele nejvyšší krouticí moment, který si pomocí základních výpočtů určíme.



Obr. 30) Schéma nájezdu plošiny na schodiště

Pro výpočet kroutícího momentu byla plošina nahrazena prutem, na kterém byly zaznačeny síly vazeb, gravitační síla s působištem v těžišti mobilního robotu a síla vytvářející kroutící moment na naklápečí hřideli. Těžiště bylo zjištěno prostřednictvím programu Inventor. Při řešení VVÚ bylo lehké nadzvednutí podvozku zanedbáno pro jeho velikost.

Nejprve si pomocí rovnic statické rovnováhy (11) (12) určíme sílu  $F_B$  (13). V následujících rovnicích byly použity tyto parametry:  $l_1 = 295 \text{ mm}$ ,  $l_2 = 348 \text{ mm}$ ,  $L = 224 \text{ mm}$ ,  $m = 54 \text{ kg}$ ,  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

$$\sum F_y : F_A + F_B = F_g \quad (11)$$

$$\sum M_T : F_A \cdot l_1 = F_B \cdot l_2 \quad (12)$$

$$F_B = \frac{F_g}{2,18} = \frac{m \cdot g}{2,18} = \frac{54 \cdot 9,81}{2,18} = 243 \text{ N} \quad (13)$$

Po zjištění síly  $F_B$  lze přes úhel  $\phi = 35^\circ$  dopočítat sílu  $F_k$  (14):

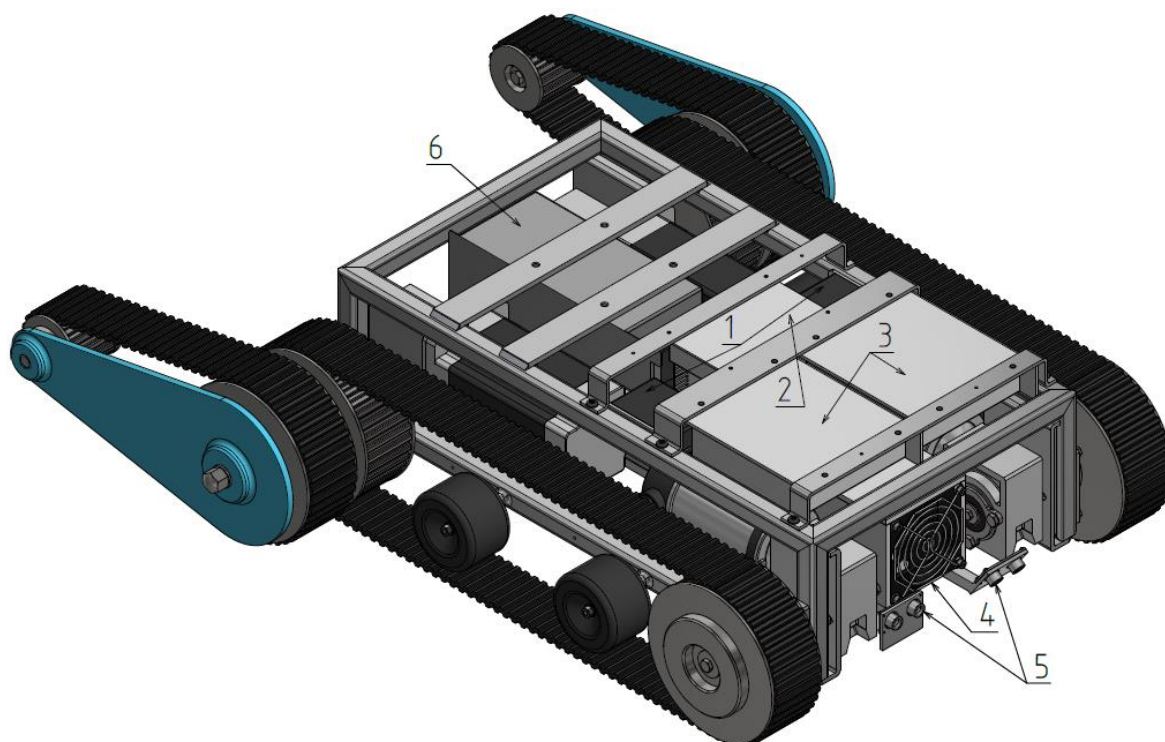
$$F_k = F_B \cdot \cos \phi = 243 \cdot \cos 35^\circ = 199 \text{ N} \quad (14)$$

Jelikož jsou k dispozici dva krokové motory ( $N = 2$ ), výsledný vztah pro kroutící moment na naklápečí hřideli bude (15):

$$M_k = \frac{L \cdot F_k}{N} = \frac{0,224 \cdot 199}{2} = 22,3 \text{ Nm} \quad (15)$$

## 6.4 Elektronika

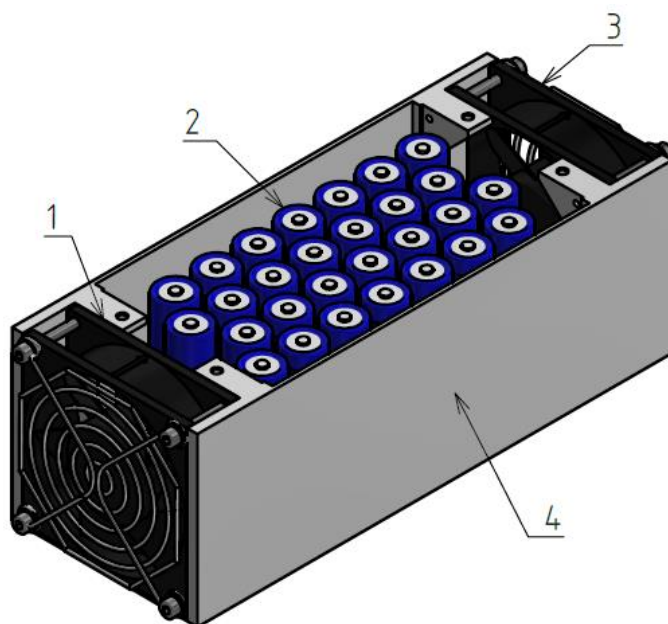
Většina elektroniky je situována pod odkládacím prostorem (Obr. 31), kde pro ni bylo cíleně vytvořeno místo. Nachází se zde ovladače stejnosměrných motorů (3), ovladače krokových motorů (1) a řídicí systém (2). Pod ovladači se mezi stejnosměrnými motory vyskytuje akumulátor (4) sloužící jako zdroj bezdrátové energie. Mimoto je v přední části podvozku uložen 720 W průmyslový zdroj WXD-720W (6) s výstupním napětí 24 V, přičemž byl tento typ vybrán na základě součtu výkonů všech komponent, jež vyžadují elektrinu. Dále patří mezi elektronické příslušenství robotu čtyři ultrazvuková čidla (5) a světlo v čele podvozku.



Obr. 31) Elektronika umístěna v těle robotu

### 6.4.1 Akumulátor

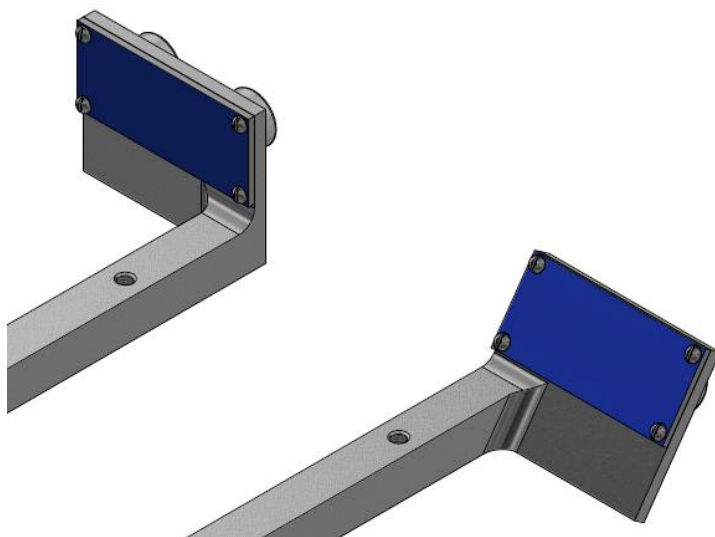
Akumulátor mobilního robotu (Obr. 32) je složen z několika důležitých dílů. Jeho hlavní součástí je 28 článků 3,7 V Li-ion baterie HY 18650 kapacity 7,8 Ah (2), které při zapojení každých čtyř článků paralelně a každých sedmi článků do série vytváří 24 V akumulátor o celkové kapacitě 31,2 Ah. To by mělo vystačit přibližně na hodinu provozu. Články jsou pevně vloženy do krabičky (4), která disponuje z každé strany ventilátorem. Jeden ventilátor (1) nasává studený vzduch, druhý ventilátor (3) pak vyfukuje ohřátý vzduch ven. Jelikož mají Li-ion baterie tendenci se zahřívat, je nutné zajistit jejich chlazení. Takto realizovaný akumulátor má však spoustu výhod, mezi které patří poměrně nízká cena a malá hmotnost.



Obr. 32) Akumulátor

#### 6.4.2 Čidla

Jelikož má být konstruovaný mobilní robot autonomní, musí být opatřen senzory. Pro tuto funkci byly využity celkově čtyři ultrazvukové měřiče vzdálenosti SR04. Na obou koncích podvozku je dvojice měřičů přišroubována k plechům o tloušťce 3 mm, přičemž jeden z páru je vždy nakloněn pod úhlem  $35^\circ$  (Obr. 33), aby robot věděl, kdy začít sklápět přední pásy dolů po tom, co se ocitne na konci schodiště.



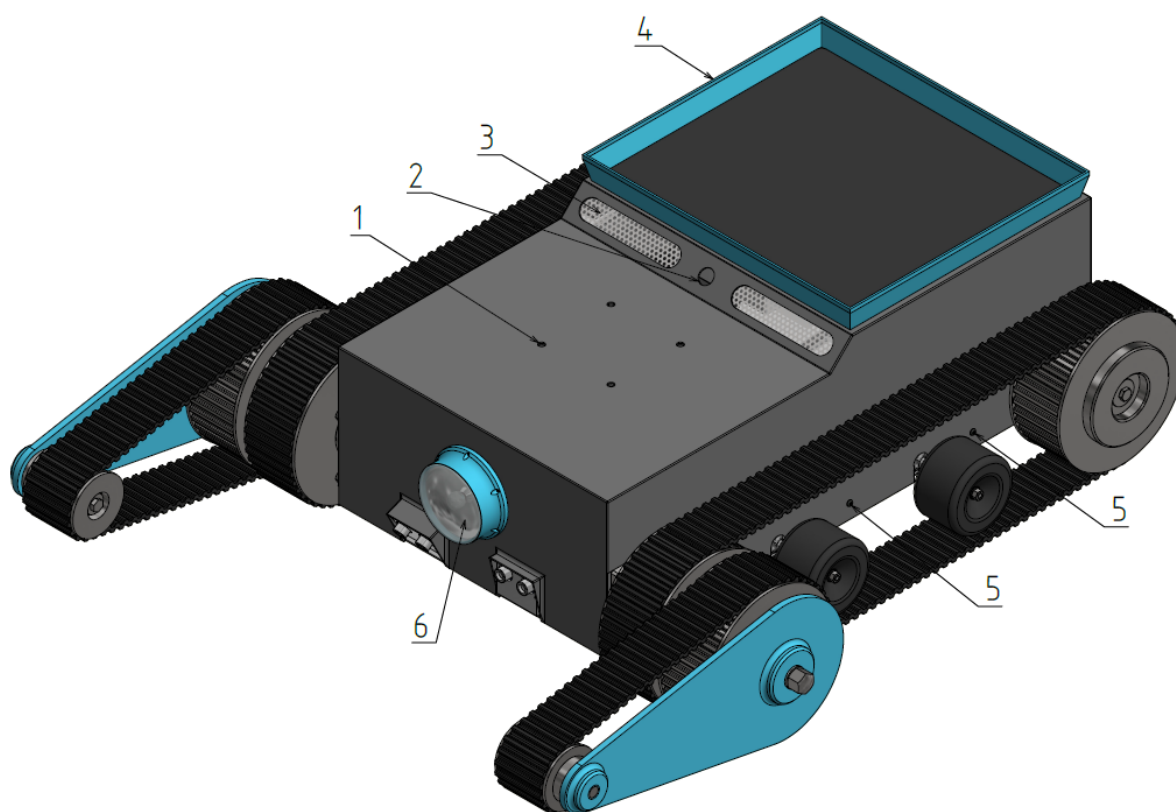
Obr. 33) Zadní pohled na ultrazvukové měřiče

Ultrazvukové měřiče mohou být připevněny i z obou boků plošiny, aby nedocházelo k drhnutí robotu například o zábradlí. Dále by bylo vhodné využít gyroskop, aby manipulátor věděl, pod jakým úhlem je lokomoční ústrojí naklopeno.

## 6.5 Kryt

Krytí lokomočního ústrojí se skládá ze dvou částí. Spodní část představuje zohýbaný plech tloušťky 1,2 mm přišroubovaný zespodu podvozku. Vrchní část je tvořena k sobě přivařenými plechy tloušťky 1,2 mm, které jsou shora nasazeny na tělo robotu. Vrchní kryt je dále připojen šrouby, jež zároveň drží průmyslový robot (1). Kryt také upevňují šrouby připevňující k tělu robotu plechovou vanu (4) určenou na odkládání předmětů. Aby nedocházelo při operování mobilního robotu k hluku, tak je horní kryt ještě přišroubován k rámu ze stran (5).

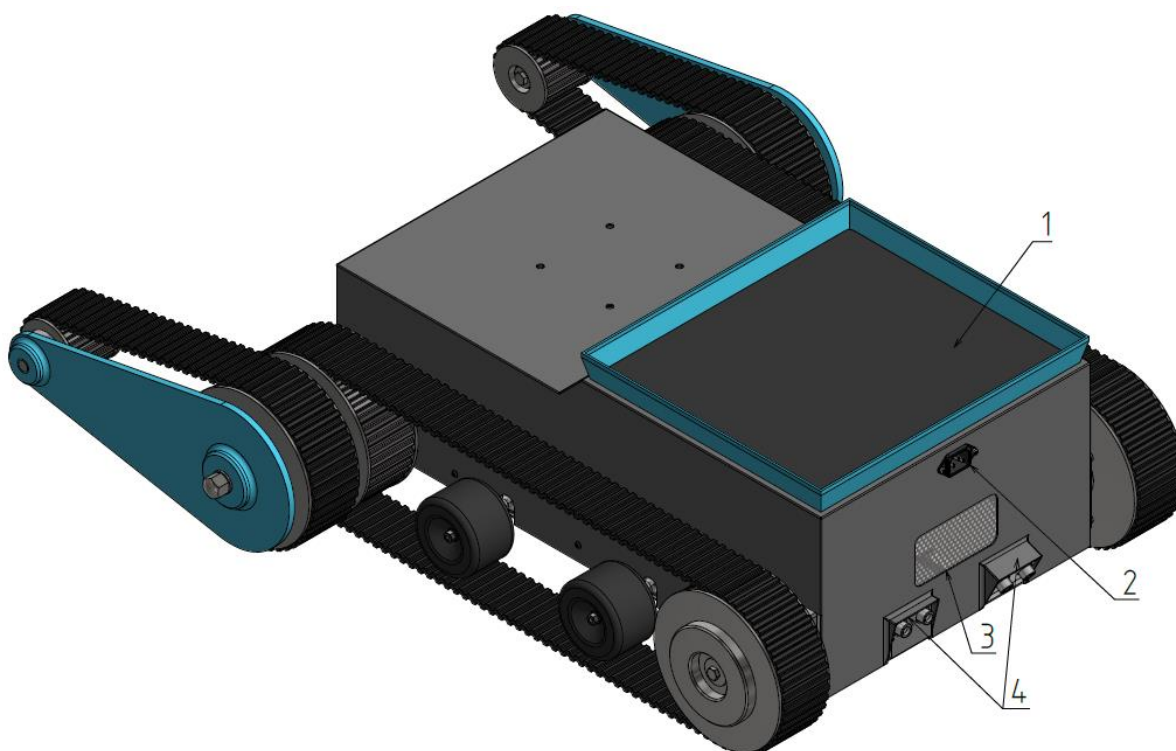
Vrchní kryt se musel přizpůsobit geometrii těla robotu, proto prošel několika úpravami – byly do něj vyřezány otvory pro díly jako je například ložisková jednotka. Při pohledu zepředu robotu (Obr. 34) lze také vidět otvor pro kabel manipulačního zařízení (2), světlo v čele podvozku (6) a odvětrávání (3), jež bylo zhotoveno, aby nedocházelo k nebezpečnému přehřívání vnitřních komponent.



Obr. 34) Přední pohled na kryt robotu

Na zadním pohledu (Obr. 35) lze pozorovat další větrání (3) vyrobené primárně za účelem odvodu teplého vzduchu z baterie. Mezi další zobrazené prvky patří výstup ze zdroje (2), aby mohl robot operovat i po vybití baterie v místech s možností připojení k elektrické síti, stříšky (4) pro ochranu čidel před deštěm a v neposlední řadě gumová podložka, která zmírňuje klouzáni převážených předmětů (1).

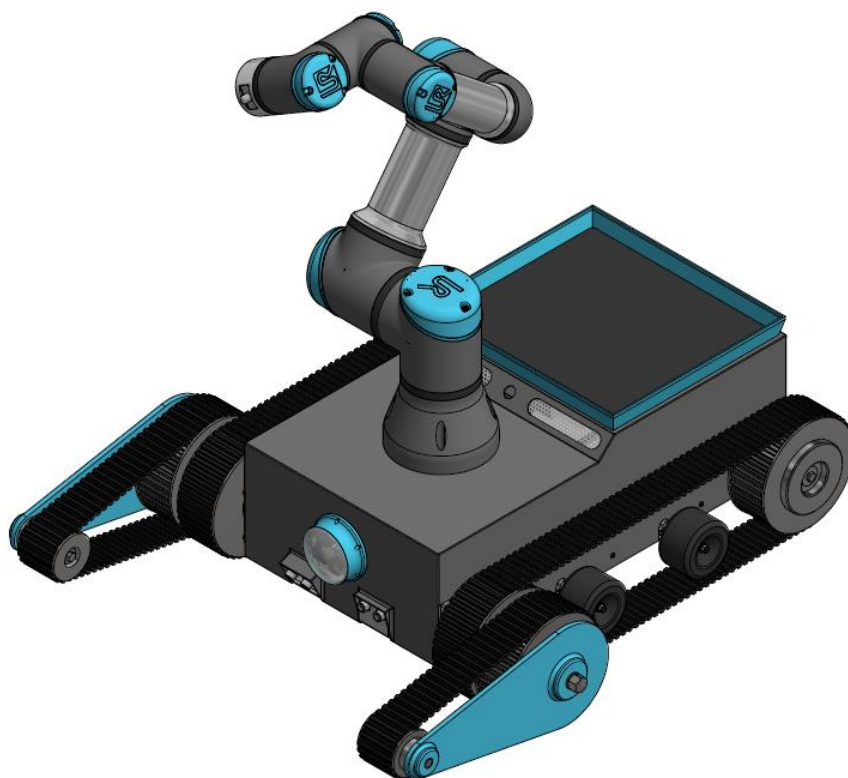




Obr. 35) Zadní pohled na kryt robotu

## 6.6 Mobilní robot

Po nasazení krytu a namontování vany je na řadě přišroubování průmyslového robotu, čímž vzniká zařízení v podobě mobilního robotu (Obr. 36).



Obr. 36) Mobilní robot



## 7 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem lokomočního ústrojí průmyslového robotu, a to především z konstrukčního hlediska. Návrh se také dotýká oblasti elektroniky, kabeláž nebo kupříkladu samotné programování řídicího systému neřeší. Při konstrukci se sice s místem pro elektroniku a popřípadě i s dalšími úpravami počítá, pokud by však měl být mobilní robot plně funkční, bylo by zapotřebí zpracovat i tuto problematiku.

Konstrukce lokomočního ústrojí je navržena tak, aby byla co nejsnadněji realizovatelná a nedocházelo k mnoha potížím při výrobě. Mobilní robot bude ve výsledku poměrně rozměrný a těžký natolik, že by ho mohla unést pouze dvojice fyzicky zdatných osob. Přenášení lze ulehčit připevněním úchytů na boky podvozku nebo redukcí hmotnosti rámové konstrukce. Ta by šla snížit užitím lehčích materiálů, než je ocel – kupříkladu použitím hliníkových slitin. Tady je však daný materiál volen z důvodu vyšší stability podvozku, jak již bylo dříve zmíněno. Při vybírání ostatních komponent bylo nahlíženo na jejich hmotnost a dbáno na to, aby tyto komponenty nebyly zbytečně těžké. Dále by se dala hmotnost redukovat odebráním materiálu z řemenic (např. vyvrtáním děr), popřípadě z plechů sloužících k naklápění předních pásů, což by ovšem vedlo ke snížení jejich únosnosti a v nejhorším případě k jejich poruše při nájezdu na schody.

Velkou roli při pohybu po různých typech schodů hrají celkové rozměry robotu. Při sklopených předních pásech činí jeho maximální délka 780 mm a šířka 670 mm. Robot sice projede dveřmi, ale s užšími prostory by mohl mít problém. Lokomoční ústrojí by mohlo být zúženo obrobením řemenic, což je vzhledem k rozměru naklápěcích pásů marginální záležitost. Ty jsou ale velice důležité pro adaptaci na rovné, a především lomené schody. Sklopením navíc navyšují celkovou stabilitu podvozku.

V praxi by mohl být tento mobilní robot využit pro obklad schodů. Výhodou je možnost nepřetržité práce a výbava vlastním světlem, tudíž nemusí spoléhat na externí osvětlení. Akumulátor mu dodává energii přibližně na hodinu práce, což je benefitem v místech, kde není možnost připojení k elektrické síti. Lokomoční ústrojí také disponuje průmyslovým zdrojem s výstupem pro zapojení do elektrické sítě, proto může robot čerpat energii i tímto způsobem. Převoz předmětů po schodech je také možný s podmínkou omezené velikosti hmotnosti.

Z ekonomického hlediska sice tato práce nevyžadovala žádná omezení, při vybírání komponent však bylo na jejich cenu nahlíženo. Je nutné podotknout, že se občas muselo sáhnout po dražší variantě komponenty, a to především z důvodu naddimenzování. Ačkoliv bude mobilní robot ve výsledku dražší, pravděpodobnost výskytu chyb při jeho funkci bude menší.



## 8 ZÁVĚR

Cílem závěrečné práce bylo navrhnout koncepční řešení pro lokomoční ústrojí průmyslového robotu na transport robotu, případně dalších manipulovaných předmětů po schodišti. Toto lokomoční ústrojí by mělo být rovněž schopno automatického pohybu po rovných nebo lomených schodech včetně adaptace na parametry schodiště. Na úvod rešeršní činnost odhalila různé typy průmyslových robotů a lokomočních ústrojí lišících se především z kinematického hlediska.

Posléze byl proveden systémový rozbor práce, jenž uvádí problémovou situaci, cíle práce a postup při vypracování. Dále vytváří základ pro multikriteriální analýzu, protože je jeho součástí také schéma parametrů, které bylo využito při výběru hodnotících parametrů uplatněných právě v multikriteriální analýze.

Následující kapitola prezentuje čtyři návrhové varianty, kterými může být lokomoční ústrojí řešeno. Kromě modelů těchto variant jsou zde také zobrazeny způsoby pohybu plošiny po schodech, což alespoň nepatrně nastiňuje, která varianta by mohla být nejvhodnější z hlediska adaptace na parametry schodišť. Vhodná varianta je poté vybrána na základě multikriteriální hodnocení, jež zohledňuje nejdůležitější parametry, na které má být nahlíženo.

V kapitole konstrukčního řešení byla v nejdůležitějších úsecích rozebrána konstrukce lokomočního ústrojí průmyslového robotu, přičemž byl na závěr kapitoly zobrazen mobilní robot, který vznikl připevněním manipulačního zařízení (průmyslového robotu) na plošinu.

Na závěr proběhlo zhodnocení konstrukčního řešení a diskuse nad danou problematikou. Ta odhalila, kde by se mohly vyskytovat nedostatky při řešení problému. Součástí závěrečné práce jsou také přílohy v podobě 3D modelu koncepčního návrhu a fotografií, které napomáhají v orientaci organizace komponent uvnitř lokomočního ústrojí.

Cíle této bakalářské práce byly splněny. Lze říci, že tato práce buduje základy pro autonomní pohyb průmyslových robotů. Musela by se ovšem nadále rozvíjet, aby její výsledek našel využití v praxi.



## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN ISO 8373 (18650). Roboty a robotická zařízení – Slovník. Praha: Český normalizační institut, 2014.
- [2] HOTAŘ, Vlastimil. Průmyslové roboty a manipulátory. In: *Technická univerzita v Liberci – fakulta strojní* [online]. Liberec (Česká republika): 2019 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/ksr/podklady/AKR-2.p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka-roboty%20a%20manipul%C3%A1tory.pdf>
- [3] DE LUCA, Alessandro. Industrial robotics. In: *Department of Computer, Control and Management Engineering* [online]. Řím (Itálie): Sapienza - Università di Roma, nedatováno [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: [http://www.diag.uniroma1.it/~deluca/rob1\\_en/01\\_IndustrialRobots.pdf](http://www.diag.uniroma1.it/~deluca/rob1_en/01_IndustrialRobots.pdf)
- [4] MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION. FA equipment for beginners. Mitsubishi electric corporation: global – factory automation [online]. 2014. [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: [https://www.mitsubishielectric.com/fa/assist/e-learning/pdf/eng/FA\\_Equip\\_for\\_Begin\\_eng\\_Industrial\\_Robots.pdf](https://www.mitsubishielectric.com/fa/assist/e-learning/pdf/eng/FA_Equip_for_Begin_eng_Industrial_Robots.pdf)
- [5] MARQUISS, Ray. Five Types of Industrial Robots And How To Choose The Best Fit. In: *valin.com* [online]. Valin Corporation, 3. 8. 2018. [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.valin.com/resources/articles/five-types-of-industrial-robots-and-how-to-choose-the-best-fit>
- [6] 6 Major Types of Industrial Robots Used in the Global Manufacturing 2018. *Technavio blog* [online]. 31. 8. 2018 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://blog.technavio.com/blog/major-types-of-industrial-robots>
- [7] Karteziánský robot [fotografie]. In: *Direct industry* [online]. © 2021 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/janome-industrial-equipment/product-21823-1834331.html>
- [8] Pohyb karteziánského robotu [digitální]. In: *Kawasaki Robotics* [online]. 10. 4. 2018 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://robotics.kawasaki.com/ja1/xyz/en/1803-01/>
- [9] SciClops Microplate Handler [fotografie]. In: *Hudson Robotics* [online]. © 2020 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://hudsonrobotics.com/microplate-handling-2/platecrane-sciclops-3/>
- [10] Cylindrical coordinate robot [digitální]. In: *Kawasaki Robotics* [online]. 10. 4. 2018 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://robotics.kawasaki.com/ja1/xyz/en/1803-01/>
- [11] Scara Robot [fotografie]. In: *Indiamart* [online]. © 1996-2021 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/scara-robot-15355905162.html>
- [12] Selective compliance assembly robot arm (SCARA) [digitální]. In: *Kawasaki Robotics* [online]. 10. 4. 2018 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://robotics.kawasaki.com/ja1/xyz/en/1803-01/>
- [13] 6 Axis Robot Arm [fotografie]. In: *Indiamart* [online]. © 1996-2021 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/6-axis-robot-arm-21085367312.html>
- [14] Articulated robot [digitální]. In: *Kawasaki Robotics* [online]. 10. 4. 2018 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://robotics.kawasaki.com/ja1/xyz/en/1803-01/>
- [15] Delta Robot DR [fotografie]. In: *Weiss World* [online]. © 2021 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.weiss-world.com/en/products/robots-10327/delta-robots-211>

- [16] Parallel link robot [digitální]. In: *Kawasaki Robotics* [online]. 10. 4. 2018 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://robotics.kawasaki.com/ja1/xyz/en/1803-01/>
- [17] KÁRNÍK, Ladislav. Lokomoční ústrojí mobilních robotů pro nestrojírenské aplikace. *Automa* [online]. Děčín (Česká republika): Automa, 2002, 3(7) [cit. 12. 11. 2020]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/lokomocni-ustroji-mobilnich-robotu-pro-nestrojirenske-aplikace-2002\\_07\\_28494\\_691/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/lokomocni-ustroji-mobilnich-robotu-pro-nestrojirenske-aplikace-2002_07_28494_691/)
- [18] BRUZZONE, Luca & QUAGLIA, Giuseppe, 2012. Review article: locomotion systems for ground mobile robots in unstructured environments. *Mechanical Sciences* [online]. 3 (2), 49-62 [cit. 12. 11. 2020]. ISSN 0020-7403. DOI: 10.5194/ms-3-49-2012.
- [19] RUBIO Francisco, VALERO Francisco & LLOPIS-ALBERT Carlos, 2019. A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications. *International Journal of Advanced Robotic Systems* [online]. Elsevier, 16(2), 1-22 [cit. 12. 11. 2020]. ISSN 17298814. DOI: <https://doi.org/10.1177/1729881419839596>
- [20] SIEGWART, Roland & NOURBAKHS, Illah R. Introduction to Autonomous Mobile Robots. 1. vydání. Cambridge (Massachusetts): The MIT Press, 2004. 335 stran. ISBN: 9780262195027.
- [21] CHRISTENSEN, Henrik I. Robot locomotion. In: *Georgia Institute of Technology* [online]. Stockholm (Švédsko): 22. 3. 2006 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: [https://www.cc.gatech.edu/~dellaert/07F-Robotics/Schedule\\_files/03-Locomotion.pdf](https://www.cc.gatech.edu/~dellaert/07F-Robotics/Schedule_files/03-Locomotion.pdf)
- [22] The four basic wheel type. In: SIEGWART, Roland & NOURBAKHS, Illah R. *Autonomous Mobile Robots: Locomotion* [online]. [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <http://www.cs.cmu.edu/~rasc/Download/AMRobots2.pdf>
- [23] CBENSON. Basics: What Types of Mobile Robots are There? In: *Robotshop* [online]. 17. 9. 2018 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.robotshop.com/community/tutorials/show/basics-what-types-of-mobile-robots-are-there>
- [24] Types of wheeled robots. In: *Robot platform* [online]. © 2010 – 2021 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: [http://www.robotplatform.com/knowledge/Classification\\_of\\_Robots/Types\\_of\\_wheeled\\_robots.html](http://www.robotplatform.com/knowledge/Classification_of_Robots/Types_of_wheeled_robots.html)
- [25] *Refraction Ai* [online]. [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://refraction.ai/>
- [26] REV-1 [digitální]. In: *Refraction Ai* [online]. [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://refraction.ai/>
- [27] Operating zones [digitální]. In: *Refraction Ai* [online]. [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://refraction.ai/>
- [28] Honda Brings Robotic Devices and Energy Management Solutions to CES 2018. In: *Honda* [online]. Las Vegas (Nevada): 9. 2. 2018 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://hondanews.com/en-US/releases/honda-brings-robotic-devices-and-energy-management-solutions-to-ces>
- [29] 3E-D18 robotic workhorse concept [digitální]. In: *Spicytec* [online]. © 2018 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <http://www.spicytec.com/2018/01/honda-unveils-3e-d18-robotic-concept-at.html>
- [30] Fitorobot [fotografie]. In: *Fitosofia* [online]. 4. 8. 2015 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://fitosofia.blogspot.com/2015/08/fitorobot.html>
- [31] Robhaz DT3 [fotografie]. In: *Designers party* [online]. © 2003 – 2018 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <http://www.designersparty.com/category/Robotics>

- [32] Cooperative & Autonomous Robot "Gunryu" [fotografie]. In: *Expo21xx* [online]. © 1997-2018 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: [https://www.expo21xx.com/automation21xx/18224\\_st3\\_university/default.htm](https://www.expo21xx.com/automation21xx/18224_st3_university/default.htm)
- [33] Legged robots. In: *Robot platform* [online]. © 2010 – 2021 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: [http://www.robotplatform.com/knowledge/Classification\\_of\\_Robots/legged\\_robots.html](http://www.robotplatform.com/knowledge/Classification_of_Robots/legged_robots.html)
- [34] Atlas. *Boston Dynamics* [online]. Waltham (Massachusetts): © 2021 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.bostondynamics.com/atlas>
- [35] Atlas [fotografie]. In: *Boston Dynamics* [online]. Waltham (Massachusetts): © 2021 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.bostondynamics.com/atlas>
- [36] SOFFAR, Heba. Legged robots features, types, uses, advantages and disadvantages. In: *Online Sciences* [online]. Alexandria (Egypt): 16. 3. 2019. Datum poslední aktualizace 29. 8. 2019 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.online-sciences.com/robotics/legged-robots-features-types-uses-advantages-and-disadvantages/>
- [37] Spot. *Boston Dynamics* [online]. Waltham (Massachusetts): © 2021 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.bostondynamics.com/spot>
- [38] BostonDynamics Spot [fotografie]. In: *Alza* [online]. © 1994 - 2021 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/hracky/bostondynamics-spot-d5684231.htm>
- [39] RHex Rough-Terrain Robot (Boston Dynamics) – 11019. In: *Robot Park Academy* [online]. 26. 2. 2013 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <http://www.robotpark.com/academy/rhex-rough-terrain-robot-11019/>
- [40] RHEX (2007) [fotografie]. In: *Boston Dynamics* [online]. Waltham (Massachusetts): © 2021 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.bostondynamics.com/legacy>
- [41] Universal robots UR3E. *Universal Robots* [online]. © 2021 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/produkty/robot-ur3e/?fbclid=IwAR0HnXDzXfbhaeN3LHUjUp4TKnYlXw-WNFEqEv90o5fWDs024G55OdabyHE>
- [42] ROBOTSHOPMASCOT. Drive Motor Sizing Tool. In: *Robotshop* [online]. 7. 3. 2013 [cit. 12. 11. 2020]. Dostupné z: <https://www.robotshop.com/community/blog/show/drive-motor-sizing-tool?fbclid=IwAR0pu6RNKLIG5brkSqd2pRl9Yjsq9Oq8X84GlcCzldQCEh2TVzjSD2mhxA4>





# 10 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 10.1 Seznam zkratk a symbolů

Zkratka	Význam	Jednotka
3D	trojrozměrný	[-]
a	zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]
ε <sub>A</sub>	hodnocení varianty A	[-]
ε <sub>B</sub>	hodnocení varianty B	[-]
ε <sub>C</sub>	hodnocení varianty C	[-]
ε <sub>D</sub>	hodnocení varianty D	[-]
F <sub>A</sub>	síla vazby A	[N]
F <sub>B</sub>	síla vazby B	[N]
F <sub>g</sub>	gravitační síla	[N]
F <sub>k</sub>	síla tvořící kroutící moment na naklápěcí hřídeli	[N]
F <sub>t</sub>	třecí síla	[N]
F <sub>x</sub>	síla v ose x	[N]
F <sub>y</sub>	síla v ose y	[N]
g	tíhové zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]
HP <sub>A1</sub>	hodnota parametru 1 varianty A	[-]
HP <sub>A2</sub>	hodnota parametru 2 varianty A	[-]
HP <sub>A3</sub>	hodnota parametru 3 varianty A	[-]
HP <sub>A4</sub>	hodnota parametru 4 varianty A	[-]
HP <sub>A5</sub>	hodnota parametru 5 varianty A	[-]
HP <sub>A6</sub>	hodnota parametru 6 varianty A	[-]
HP <sub>A7</sub>	hodnota parametru 7 varianty A	[-]
HP <sub>A8</sub>	hodnota parametru 8 varianty A	[-]
HP <sub>A9</sub>	hodnota parametru 9 varianty A	[-]
HP <sub>B1</sub>	hodnota parametru 1 varianty B	[-]
HP <sub>B2</sub>	hodnota parametru 2 varianty B	[-]
HP <sub>B3</sub>	hodnota parametru 3 varianty B	[-]
HP <sub>B4</sub>	hodnota parametru 4 varianty B	[-]
HP <sub>B5</sub>	hodnota parametru 5 varianty B	[-]
HP <sub>B6</sub>	hodnota parametru 6 varianty B	[-]
HP <sub>B7</sub>	hodnota parametru 7 varianty B	[-]

$HP_{B8}$	hodnota parametru 8 varianty B	[-]
$HP_{B9}$	hodnota parametru 9 varianty B	[-]
$HP_{C1}$	hodnota parametru 1 varianty C	[-]
$HP_{C2}$	hodnota parametru 2 varianty C	[-]
$HP_{C3}$	hodnota parametru 3 varianty C	[-]
$HP_{C4}$	hodnota parametru 4 varianty C	[-]
$HP_{C5}$	hodnota parametru 5 varianty C	[-]
$HP_{C6}$	hodnota parametru 6 varianty C	[-]
$HP_{C7}$	hodnota parametru 7 varianty C	[-]
$HP_{C8}$	hodnota parametru 8 varianty C	[-]
$HP_{C9}$	hodnota parametru 9 varianty C	[-]
$HP_{D1}$	hodnota parametru 1 varianty D	[-]
$HP_{D2}$	hodnota parametru 2 varianty D	[-]
$HP_{D3}$	hodnota parametru 3 varianty D	[-]
$HP_{D4}$	hodnota parametru 4 varianty D	[-]
$HP_{D5}$	hodnota parametru 5 varianty D	[-]
$HP_{D6}$	hodnota parametru 6 varianty D	[-]
$HP_{D7}$	hodnota parametru 7 varianty D	[-]
$HP_{D8}$	hodnota parametru 8 varianty D	[-]
$HP_{D9}$	hodnota parametru 9 varianty D	[-]
$L$	osová vzdálenost řemenic naklápěcího pásu	[m]
$l_1$	vzdálenost mezi působištem síly $F_A$ a těžištěm T	[m]
$l_2$	vzdálenost mezi působištem síly $F_B$ a těžištěm T	[m]
$m$	maximální hmotnost mobilního robotu	[kg]
$M_k$	kroutící moment	[Nm]
$M_T$	moment v těžišti T	[Nm]
$M_t$	točivý moment	[Nm]
$N$	počet motorů	[-]
$\omega$	úhlová rychlost	[rad·s <sup>-1</sup> ]
$P$	výkon	[W]
$P_1$	parametr 1	[-]
$P_2$	parametr 2	[-]
$P_3$	parametr 3	[-]
$P_4$	parametr 4	[-]
$P_5$	parametr 5	[-]
$P_6$	parametr 6	[-]
$P_7$	parametr 7	[-]

P <sub>8</sub>	parametr 8	[-]
P <sub>9</sub>	parametr 9	[-]
r	poloměr velké řemenice	[mm]
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm	[-]
V <sub>1</sub>	váha parametru 1	[-]
V <sub>2</sub>	váha parametru 2	[-]
V <sub>3</sub>	váha parametru 3	[-]
V <sub>4</sub>	váha parametru 4	[-]
V <sub>5</sub>	váha parametru 5	[-]
V <sub>6</sub>	váha parametru 6	[-]
V <sub>7</sub>	váha parametru 7	[-]
V <sub>8</sub>	váha parametru 8	[-]
V <sub>9</sub>	váha parametru 9	[-]
v	rychlost	[m·s <sup>-1</sup> ]

## 10.2 Seznam tabulek

Tab 1)	Váha parametrů s odůvodněním .....	39
Tab 2)	Hodnoty parametrů varianty A s odůvodněním .....	40
Tab 3)	Hodnoty parametrů varianty B s odůvodněním .....	41
Tab 4)	Hodnoty parametrů varianty C s odůvodněním .....	42
Tab 5)	Hodnoty parametrů varianty D s odůvodněním .....	43
Tab 6)	Výsledky multikriteriálního hodnocení .....	43

## 10.3 Seznam obrázků

Obr. 1)	a) Karteziánský robot, b) Pohyb karteziánského robotu [7] [8] .....	18
Obr. 2)	a) Cylindrický robot, b) Pohyb cylindrického robotu [9] [10] .....	19
Obr. 3)	a) SCARA robot, b) Pohyb SCARA robotu [11] [12] .....	19
Obr. 4)	a) Šestiosý robot, b) Pohyb šestiosého robotu [13] [14] .....	20
Obr. 5)	a) Delta robot, b) Pohyb delta robotu [15] [16] .....	20
Obr. 6)	Schéma jednotlivých typů kol [22] .....	22
Obr. 7)	a) Tříkolový robot REV-1, b) Operační zóny robotu REV-1 [26] [27] .....	23
Obr. 8)	Čtyřkolový robot 3E-D18 s přídatným zařízením v podobě lopaty [29] .....	24
Obr. 9)	Pásové roboty: a) Fitorobot, b) Robhaz DT3, c) Gunryu [30] [31] [32] .....	25
Obr. 10)	Kráčející dvounohý robot Atlas [35] .....	26
Obr. 11)	Kráčející čtyřnohý robot Spot [38] .....	26
Obr. 12)	Kráčející šestinohý robot Rhex [40] .....	27

Obr. 13) Schéma postupu při vypracování .....	30
Obr. 14) Schéma parametrů .....	31
Obr. 15) Model varianty A .....	33
Obr. 16) Pohyb varianty A po schodech.....	34
Obr. 17) Model varianty B.....	34
Obr. 18) Pohyb varianty B po schodech .....	35
Obr. 19) Model varianty C.....	35
Obr. 20) Pohyb varianty C po schodech .....	36
Obr. 21) Model varianty D .....	36
Obr. 22) Pohyb varianty D po schodech.....	37
Obr. 23) Rámová konstrukce .....	46
Obr. 24) Pohonný mechanismus .....	47
Obr. 25) a) Ložisková jednotka, b) Tyč tvaru u pro uchycení stejnosměrných motorů	48
Obr. 26) Napínání řemenů .....	48
Obr. 27) Pomocná kolečka.....	49
Obr. 28) Schéma zrychlování kola robotu po nakloněné rovině .....	49
Obr. 29) Naklápěcí mechanismus .....	51
Obr. 30) Schéma nájezdu plošiny na schodiště .....	51
Obr. 31) Elektronika umístěna v těle robotu.....	53
Obr. 32) Akumulátor.....	54
Obr. 33) Zadní pohled na ultrazvukové měřice .....	54
Obr. 34) Přední pohled na kryt robotu .....	55
Obr. 35) Zadní pohled na kryt robotu .....	56
Obr. 36) Mobilní robot.....	56

## 11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Fotografie koncepčního návrhu z čelní strany

Příloha 2 – Fotografie koncepčního návrhu ze zadní strany

Příloha 3 – Fotografie organizace elektroniky uvnitř lokomočního ústrojí

Příloha 4 – Fotografie elektroniky ze zadní strany lokomočního ústrojí

Příloha 5 – 3D model koncepčního návrhu (mobilni\_robot.stp)

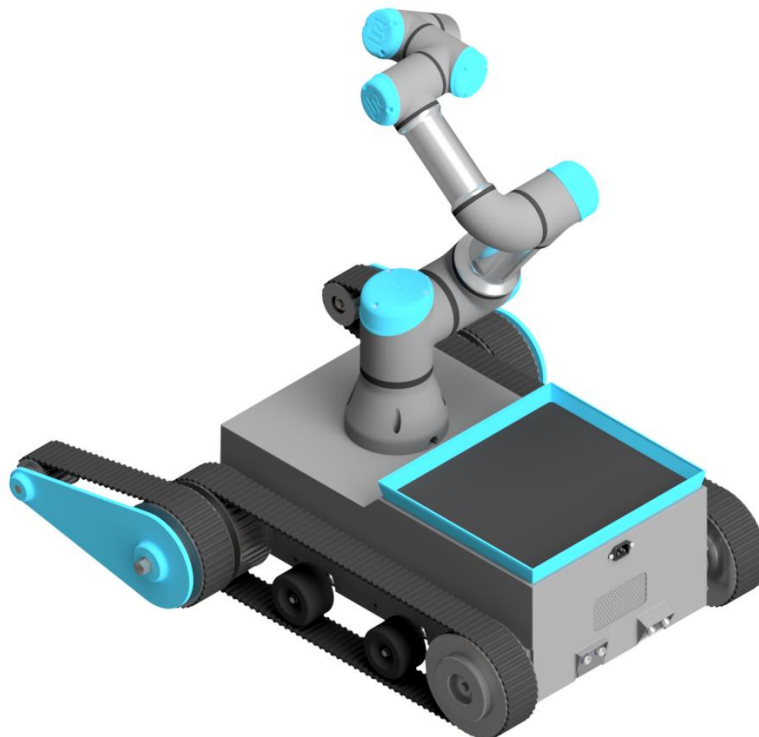


## PŘÍLOHY

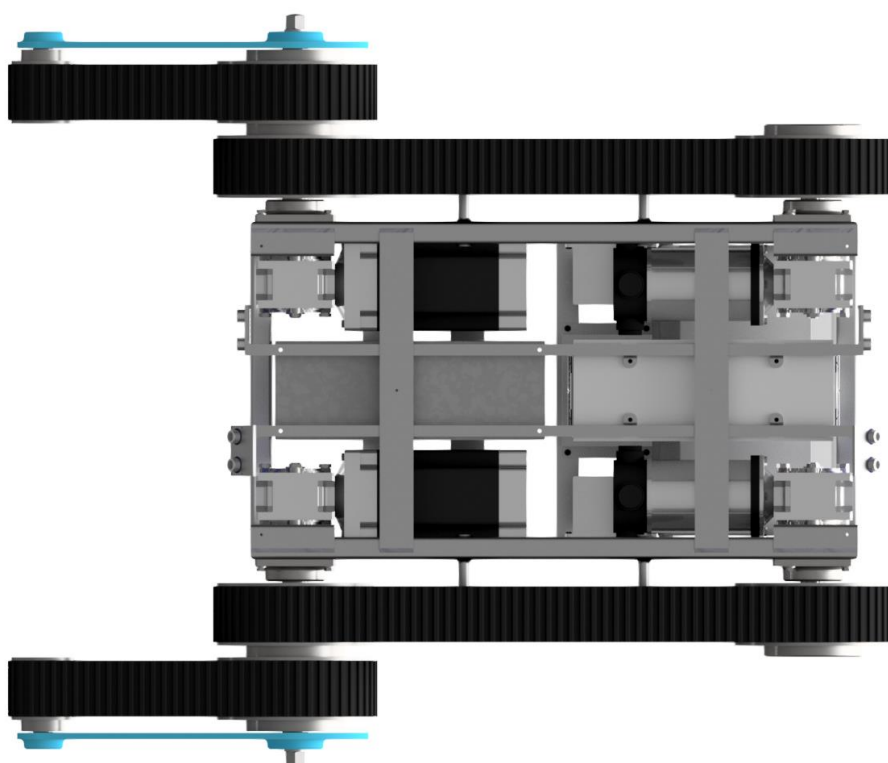
**Příloha 1 – Fotografie koncepčního návrhu z čelní strany**



**Příloha 2 – Fotografie koncepčního návrhu ze zadní strany**



**Příloha 3 – Fotografie organizace elektroniky uvnitř lokomočního ústrojí**



**Příloha 4 – Fotografie elektroniky ze zadní strany lokomočního ústrojí**

